

Welt im Wandel

Strategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken



Wissenschaftlicher Beirat
der Bundesregierung
Globale
Umweltveränderungen

Jahresgutachten
1998



Springer

Springer
Berlin
Heidelberg
New York
Barcelona
Hongkong
London
Mailand
Paris
Singapur
Tokio

Mitglieder des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen

(Stand: 1. Juni 1998)

Prof. Dr. Friedrich O. Beese

Agronom: Direktor des Instituts für Bodenkunde und Waldernährung der Universität Göttingen

Prof. Dr. Klaus Fraedrich

Meteorologe: Meteorologisches Institut der Universität Hamburg

Prof. Dr. Paul Klemmer

Ökonom: Präsident des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung, Essen

Prof. Dr. Dr. Juliane Kokott (Stellvertretende Vorsitzende)

Juristin: Lehrstuhl für Deutsches und Ausländisches Öffentliches Recht, Völkerrecht und Europarecht der Universität Düsseldorf

Prof. Dr. Lenelis Kruse-Graumann

Psychologin: Schwerpunkt „Ökologische Psychologie“ der Fernuniversität Hagen

Prof. Dr. Christine Neumann

Ärztin: Universitätshautklinik Göttingen

Prof. Dr. Ortwin Renn

Soziologe: Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Stuttgart

Prof. Dr. Hans-Joachim Schellnhuber (Vorsitzender)

Physiker: Direktor des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung

Prof. Dr. Ernst-Detlef Schulze

Botaniker: Direktor am Max-Planck-Institut für Biogeochemie, Jena

Prof. Dr. Max Tilzer

Limnologe: Lehrstuhl für aquatische Ökologie, Universität Konstanz

Prof. Dr. Paul Velsinger

Ökonom: Leiter des Fachgebiets Raumwirtschaftspolitik der Universität Dortmund

Prof. Dr. Horst Zimmermann

Ökonom: Leiter der Abteilung für Finanzwissenschaft der Universität Marburg



Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung
Globale Umweltveränderungen

**Welt im Wandel:
Strategien zur Bewältigung
globaler Umweltrisiken**

Jahresgutachten 1998

mit 18 Farb- und 39 Schwarzweißabbildungen



Springer

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung
Globale Umweltveränderungen (WBGU)
Geschäftsstelle am Alfred-Wegener-Institut
für Polar- und Meeresforschung
Columbusstraße
D-27568 Bremerhaven
Deutschland

ISBN 3-540- 65605-7 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Welt im Wandel: Strategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken / Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen.-Berlin ; Heidelberg ; New York ; Barcelona ; Hongkong ; London ; Mailand ; Paris ; Singapur ; Tokio :

Springer, 1999

(Jahresgutachten ... / Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung
Globale Umweltveränderungen ; 1998)

ISBN 3-540-65605-7

Deutschland /Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen:

Jahresgutachten ... /Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen / Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU), Geschäftsstelle am Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung.- Berlin ; Heidelberg ; New York ; Barcelona ; Hongkong ; London ; Mailand ; Paris ; Singapur ; Tokio : Springer

Früher im Economica-Verl., Bonn

Engl. Ausgabe. u.d.T: Deutschland / Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderung: Annual report
1998. Welt im Wandel: Strategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken.-1999

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1999

Printed in Germany

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Umschlaggestaltung: Erich Kirchner, Heidelberg unter Verwendung folgender Abbildungen:

Satellitenbild eines Gewittersturms, Quelle: Pure Vision Photo Disc Deutschland GmbH

Hauszerstörung durch einen Hurrikan, Quelle: Pure Vision Photo Disc Deutschland GmbH

Frau mit Kind, Südafrika, Quelle: Meinhard Schulz-Baldes

Sturmflut, Bremerhaven, Quelle: Meinhard Schulz-Baldes

Straßenschild im Wasser, Quelle: Meinhard Schulz-Baldes

Pflanzenkeimling, Quelle: BMBF

Satz: Digitale Druckvorlage der Autoren

SPIN: 10714821 32/3136 - 5 4 3 2 1 0 - Gedruckt auf säurefreiem Papier

Danksagung

Die Erstellung dieses Gutachtens wäre ohne die engagierte und unermüdliche Arbeit der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Geschäftsstelle und der Beiratsmitglieder nicht möglich gewesen. Ihnen gilt der besondere Dank des Beirats.

Zum wissenschaftlichen Stab des WBGU gehören während der Arbeiten an diesem Gutachten:

Prof. Dr. Meinhard Schulz-Baldes (Geschäftsführer, Geschäftsstelle Bremerhaven), Dr. Carsten Loose (Stellvertretender Geschäftsführer, Geschäftsstelle Bremerhaven), Dr. Frank Biermann, LL.M. (Geschäftsstelle Bremerhaven), Dr. Arthur Block (Potsdam-Institut), Dipl.-Geogr. Gerald Busch (Universität Göttingen), AiP Susanne Fischer (Universität Göttingen), Dipl.-Phys. Ursula Fuentes Hutfilter (Geschäftsstelle Bremerhaven), Andreas Klinke, M.A. (Akademie für Technikfolgenabschätzung, Stuttgart), Dipl.-Psych. Dörthe Krömker (Fernuniversität Hagen), Dr. Gerhard Lammel (Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg), Referendarjur. Leo-Felix Lee (Universität Heidelberg), Dipl.-Ing. Roger Lienenkamp (Universität Dortmund), Dr. Heike Mumm (Universität Konstanz), Dipl.-Biol. Martina Mund (Universität Bayreuth), Dipl.-Volksw. Thilo Pahl (Universität Marburg), Dr. Benno Pilardeaux (Geschäftsstelle Bremerhaven), Dipl.-Ök. Roland Waniek (Universität Bochum).

Den Sachbearbeiterinnen, die beim Gutachten die Gestaltung und Textverarbeitung koordiniert haben, schuldet der Beirat besonderen Dank: Vesna Karic-Fazlic (Geschäftsstelle Bremerhaven), Ursula Liebert (Geschäftsstelle Bremerhaven), Martina Schneider-Kremer, M.A. (Geschäftsstelle Bremerhaven).

Der Beirat dankt den externen Gutachtern für die Zuarbeit und wertvolle Hilfe. Im einzelnen flossen folgende Gutachten und Stellungnahmen in das Jahrgutachten ein:

Prof. Dr. H.-G. Bohle, Universität Heidelberg, Südasien Institut: Risiken der Überlebenssicherung verwundbarer Gruppen in Entwicklungsländern.

Dr. R. Deml, Universität Bayreuth, Lehrstuhl für Tierökologie: Risiken der Freisetzung transgener Pflanzen mit verbesserter Insektenresistenz (B.t.-Endotoxine).

Dr. C. Ewen, Ökoinstitut Darmstadt: Resilienzstrategien – technische Ansätze und ihre organisatorischen Rahmenbedingungen.

Dr. J. Feichter, Max-Planck-Institut für Meteorologie: Der globale atmosphärische Schwefelkreislauf im ECHAM-Modell.

Prof. Dr. U. Grünwald, Technische Universität Cottbus: Hochwasserrisiken.

RA Dr. L. Gündling, Heidelberg: Das Biosafety-Protokoll im Rahmen der Konvention über die Biologische Vielfalt.

Prof. Dr. S. Hartwig, Bergische Universität Gesamthochschule Wuppertal: Risikomanagement im Bereich Technik/Technologie.

Dr. M. Henningsen, Technologie-Transfer-Zentrale Schleswig-Holstein: Ökonomische Chancen-Risiko-Abwägung der Gentechnik für global relevante gentechnologische Entwicklungszweige.

Prof. Dr. H. Karl, Universität Jena, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät: Gefährdungshaftung und Innovation. Probleme der Haftung für Entwicklungsrisiken.

Prof. Dr. H. A. Kretzschmar, Universitätsklinik Göttingen, Abteilung für Neuropathologie: Gefahreinschätzung BSE/Neue Variante Jakob-Creutzfeld-Krankheit.

Dr. B. Kriegesmann, Göttingen: Antibiotika in der Intensivtierhaltung.

Prof. Dr. M. Müller-Herold, ETH Zürich, Schweiz: Anpassung der Reichweiteindikatoren bei der Chemikalienbewertung an die globale Analyseebene.

Prof. Dr. Dr. E. h. E. Plate, Universität Karlsruhe: Hochwasser und Hochwasserschutz.

Prof. Dr. A. Pühler, Universität Bielefeld, Fakultät für Biologie, Lehrstuhl für Genetik: Horizontaler Gentransfer und seine Bedeutung für die unbeabsichtigte Verbreitung transgener Eigenschaften.

Prof. Dr. B. Reusch, Universität Dortmund, Lehrstuhl Informatik I: Sensitivitätsstudie zur hierarchischen Bewertung und Zusammenfassung von Primärdaten mit Hilfe der Fuzzy Logik.

Prof. Dr. B. von Hoffmann, Universität Trier, Fachbereich V, Internationales Privatrecht: Privatrechtliche Aspekte der internationalen Umwelthaftung als Faktor des Risikomanagements.

K. Williams, Rabbit Ecologist, CSIRO Canberra, Australien: Biological control of European rabbits in Australia.

Prof. Dr. J. Zschau, Geoforschungszentrum Potsdam: Geophysikalische Risiken mit dem Schwerpunkt Erdbeben.

Dank möchte der Beirat auch Dr. Frank J. Dentener und Dr. Geert-Jan Roelofs vom Institute for Marine and Atmospheric Research (Rijksuniversiteit Utrecht) sowie Herrn Dr. H. Müller (Hessische Stiftung Friedens- und Konfliktforschung, Frankfurt) sagen, die wertvolle Hinweise gaben.

Inhaltsübersicht

A	Zusammenfassung: Zentrale Handlungsstrategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken	1
1	Die Besonderheit der Risiken des Globalen Wandels	3
2	Einordnung der Risiken nach Normal-, Grenz- oder Verbotsbereich	6
3	Aufteilung nach Risikotypen	10
4	Typenspezifische Handlungsstrategien und Instrumente	13
5	Zentrale Handlungsempfehlungen	21
B	Einleitung	27
C	Risiko: Konzepte und Anwendungen	33
1	Risiko: Begriff und Implikationen	35
2	Schadenskategorien und Auswahlkriterien global relevanter Umweltrisiken	47
3	Charakterisierung von Risiken	53
4	Bildung von Risikotypen	58
D	Umweltrisikopotentiale des Globalen Wandels	67
1	Einleitung	69
2	Technologische Risiken	70
3	Seuchen als globales Risiko	85
4	Biologische Risiken	98
5	Stoffliche Risiken	118
6	Klimarisiken	134
7	Naturkatastrophen	149
8	Synopse: Globale Risikopotentiale im Überblick	159
E	Integrierte Risikoanalyse	163
1	Risikomodulatoren (Verstärker und Einflußfaktoren)	165
2	Regional- und sozialgruppenspezifische Anfälligkeit	188
3	Beispiele für komplexe Risiken	200
4	Risikopotentiale komplexer Umweltsysteme	209
F	Risikopolitik	229
1	Risikobewertung und Wahl der Instrumente	231
2	Haftung	238
3	Umwelthaftungsfonds	249
4	Genehmigungsverfahren	252
5	Umweltabgaben und Zertifikate	255
6	Politische Lösungsstrategien	260
7	Risikokommunikation	270
8	Diskursive Verfahren	278

G	Strategien zum Umgang mit unbekanntem Risiken	283
1	Die Bedeutung unbekannter Risiken: Vermeidung „zukünftiger Ozonlöcher“	285
2	Entdeckung unbekannter Risiken als umweltpolitische Aufgabe	291
3	Die Bedeutung kognitiver, motivationaler und sozialer Faktoren für den Umgang mit unbekanntem Risiken	301
4	Präventives Risikomanagement bei Ungewißheit	306
5	Synthese	316
H	Empfehlungen	319
1	Forschungsempfehlungen	321
2	Handlungsempfehlungen	327
I	Literatur	339
J	Glossar	365
K	Der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen	371
L	Index	375

Inhaltsverzeichnis

A	Zusammenfassung: Zentrale Handlungsstrategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken	1
1	Die Besonderheit der Risiken des Globalen Wandels	3
2	Einordnung der Risiken nach Normal-, Grenz- oder Verbotsbereich	6
3	Aufteilung nach Risikotypen	10
4	Typenspezifische Handlungsstrategien und Instrumente	13
4.1	Dynamische Betrachtungsweise	18
5	Zentrale Handlungsempfehlungen	21
5.1	Ausbau der Gefährdungshaftung	21
5.2	Vorsorgliche Wissenserzeugung	22
5.3	Internationaler Mechanismus zur Risikofeststellung und -bewertung	22
5.4	Schaffung wirkungsvoller Kapazitäten der Risikobewältigung	24
5.5	Ökologische Kriterien der Entwicklungszusammenarbeit	25
5.6	Förderung der Risikomündigkeit	25
B	Einleitung	27
C	Risiko: Konzepte und Anwendungen	33
1	Risiko: Begriff und Implikationen	35
1.1	Analytische Vorgehensweise	35
1.2	Begriffliche Abgrenzungen: Risiko und Unsicherheit	36
1.3	Das intuitive Verständnis von Risiken	39
1.4	Folgerungen für die Risikobewertung	40
1.5	Kriterien rationaler Risikobewertung	42
2	Schadenskategorien und Auswahlkriterien global relevanter Umweltrisiken	47
2.1	Schaden als Bewertungskategorie	47
2.2	Relevante Schadenskategorien	48
2.3	Probleme der Aggregation von Schadenskategorien zu einem Schadensindex	49
2.4	Auswahlkriterien global relevanter Umweltrisiken	50
2.4.1	Wahl der Kriterien	50
2.4.2	Globalfilter	50
2.4.3	Umweltfilter	52
3	Charakterisierung von Risiken	53
3.1	Die Bedeutung von Abschätzungssicherheit	53
3.2	Zusätzliche Differenzierung der Beurteilungskriterien	55

3.3	Risikobewertung im Rahmen des Leitplankenkonzepts des Beirats	56
4	Bildung von Risikotypen	58
4.1	Risikotyp Damokles	59
4.2	Risikotyp Zyklop	59
4.3	Risikotyp Pythia	61
4.4	Risikotyp Pandora	61
4.5	Risikotyp Cassandra	62
4.6	Risikotyp Medusa	63
4.7	Zusammenfassung	65
D	Umweltrisikopotentiale des Globalen Wandels	67
1	Einleitung	69
2	Technologische Risiken	70
2.1	Kernenergie, großchemische Anlagen und Staudämme als exemplarische Risikopotentiale	70
2.2	Risiken von Frühwarnsystemen von Nuklearwaffen und Risiken von ABC-Waffensystemen	74
2.3	Risiken bei bestimmten Anwendungen der Gentechnologie	77
2.4	Das Risikopotential elektromagnetischer Felder	82
3	Seuchen als globales Risiko	85
3.1	Die Bedeutung von Infektionskrankheiten	85
3.1.1	Globale Bedeutung	85
3.1.2	Bedeutung für die Umwelt	86
3.2	Schadenspotentiale, gegenwärtiger Umgang und Charakterisierung der Risiken	86
3.2.1	HIV/AIDS	86
3.2.2	„Hühnergrippe“ (Vogelinfluenza)	91
3.2.3	Bovine Spongiforme Enzephalopathie/neue Variante der Creutzfeldt-Jakob-Krankheit	93
3.3	Zuordnung zu den Risikotypen	96
4	Biologische Risiken	98
4.1	Einleitung	98
4.2	Schadenspotentiale, gegenwärtiger Umgang mit und Charakterisierung von global relevanten biologischen Risiken	99
4.2.1	Risiken durch anthropogen beeinflusste Arten unter besonderer Berücksichtigung des Verlusts biologischer Vielfalt	99
4.2.1.1	Verlust von biologischer Vielfalt, Stabilität und Ökosystemfunktionen	99
4.2.1.2	Zyklische Populationsentwicklungen	101
4.2.1.3	Algenblüten	103
4.2.1.4	Invasion nichtheimischer Arten	104
4.2.2	Risikopotentiale bei der Freisetzung und dem Inverkehrbringen transgener Pflanzen	108
4.2.2.1	Von der einfachen Zuchtwahl zur Gentechnik	109
4.2.2.2	Risiken der unbeabsichtigten Ausbreitung der inserierten Fremdgene transgener Pflanzen	110
4.2.2.3	Derzeitiger Umgang mit den Risiken	112
4.2.2.4	Beispiele einiger Risikopotentiale der „Grünen Gentechnik“	113
4.3	Zuordnung zu den Risikotypen	116
4.3.1	Risikopotentiale durch Massenentwicklungen nichtheimischer Arten als Risikotyp Zyklop	116

4.3.2	Risikopotentiale bei der Freisetzung und dem Inverkehrbringen bestimmter transgener Pflanzen als Risikotyp Pythia	116
5	Stoffliche Risiken	118
5.1	Stoffliche Zeitbomben	118
5.2	Anthropogene Veränderung biogeochemischer Kreisläufe	119
5.2.1	Anthropogene Quellen	119
5.2.2	Globale Verteilung von Stickstoff und Schwefel	120
5.2.3	Auswirkungen von CO ₂ -Emissionen auf terrestrische Ökosysteme	122
5.2.4	Fallbeispiel: Destabilisierung von Waldökosystemen	122
5.2.5	Wechselwirkungen	126
5.2.6	Gegenwärtiger Umgang mit dem Risiko	126
5.2.7	Zuordnung zu den Risikotypen	128
5.3	Persistente organische Schadstoffe	128
5.3.1	Charakterisierung des Risikos	128
5.3.2	Gegenwärtiger Umgang mit dem Risiko	130
5.3.3	Zuordnung zu Risikotypen	131
5.4	Endokrin wirksame Stoffe	132
6	Klimarisiken	134
6.1	Einleitung	134
6.2	Risikophänomenologie und Schadenspotential	135
6.2.1	Natürliche Klimavariabilität und Extreme	135
6.2.2	Anthropogener Klimawandel	136
6.2.2.1	Verwundbare Regionen	137
6.2.2.2	Meeresströmungen	139
6.3	Derzeitiger Umgang mit dem Risiko des Klimawandels	140
6.3.1	Klimaforschung und Klimapolitik	140
6.3.2	Risikoforschung	141
6.4	Zuordnung zu den Risikotypen	146
6.5	Synopse der strategischen Forschungsempfehlungen	146
7	Naturkatastrophen	149
7.1	Natürliche Risikopotentiale	149
7.1.1	Hochwasser	149
7.1.2	Erdbeben, Vulkanismus und Tsunamis	151
7.1.3	Asteroide und Kometen	152
7.2	Typisierung von Naturkatastrophen	153
7.2.1	Hochwasser, Erdbeben und Vulkane	154
7.2.2	Meteoriteneinschläge	154
7.3	Handlungsoptionen bei Naturkatastrophen	155
7.3.1	Hochwasser	155
7.3.2	Erdbeben und Vulkanismus	156
7.3.3	Maßnahmen zur Verhinderung von Meteoriteneinschlägen	157
8	Synopse: Globale Risikopotentiale im Überblick	159
E	Integrierte Risikoanalyse	163
1	Risikomodulatoren (Verstärker und Einflußfaktoren)	165
1.1	Einleitung	165
1.2	Soziokulturelle und individuelle Risikoverstärker	167
1.2.1	Einleitung	167
1.2.2	Kulturelle und soziale Faktoren	168
1.2.2.1	Kulturelle Rahmenbedingungen	168
1.2.2.2	Die soziale Gemeinschaft	170

1.2.3	Die Rolle der Medien	174
1.2.3.1	Korrektheit und Tendenz medialer Berichterstattung	176
1.2.4	Individuelle Faktoren	177
1.2.4.1	Kognitive Faktoren	179
1.3	Organisatorische Risikoverstärker und -abschwächer	180
1.3.1	Verstärkung von Risikopotentialen durch Organisationsstrukturen	180
1.3.2	Abschwächung von Risikopotentialen durch Organisationsstrukturen	181
1.3.3	Hochrisikotechnologien vs. hochzuverlässige Organisationsstrukturen	182
1.3.3.1	Perrows Hochrisikotechnologien	182
1.3.3.2	Rochlins hochzuverlässige Organisationsstrukturen	184
1.4	Ökonomische Einflußfaktoren	184
2	Regional- und sozialgruppenspezifische Anfälligkeit	188
2.1	Die Beeinflussung von Schadensausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit	188
2.2	Merkmale der Verwundbarkeit gegenüber Risiken des Globalen Wandels	189
2.2.1	Absolute Armut, wachsende globale soziale Disparitäten und Umweltkritikalität	189
2.2.2	Formen und Bestimmungsfaktoren von Verwundbarkeit	193
2.2.2.1	Bestimmungsfaktoren für Verwundbarkeit im ländlichen Raum	193
2.2.2.2	Bestimmungsfaktoren für Verwundbarkeit in Städten	194
2.3	Individuelle Lösungswege zur Verminderung sozialer Verwundbarkeit	195
2.3.1	Die individuellen „Aktivposten“ zur Bewältigung von Risiken des Globalen Wandels	195
2.3.2	Verwundbarkeit und Risikoversorge	196
2.3.3	Stärkung der Risikobewältigungskapazitäten verwundbarer Gruppen	197
3	Beispiele für komplexe Risiken	200
3.1	Globaler Wandel und Gesundheit	200
3.1.1	Erregerresistenz	201
3.1.2	Verlust stratosphärischen Ozons	202
3.1.3	Zunahme allergischer Erkrankungen durch globale Umweltveränderungen?	203
3.2	Globaler Wandel und Ernährung	204
3.2.1	Einleitung	204
3.2.2	Strukturelle Veränderungen der Nahrungsproduktion	204
3.2.3	Einflüsse globaler Umweltveränderungen auf die Nahrungsproduktion	206
3.2.4	Einflüsse von global relevanten gesellschaftlichen Entwicklungen auf die Nahrungsproduktion	207
3.2.5	Überlagerung von Problemen des Globalen Wandels mit Nahrungsrisiken	208
4	Risikopotentiale komplexer Umweltsysteme	209
4.1	Komplexität und Risiko aus systemanalytischer Sicht	209
4.1.1	Charakteristiken komplexer Systeme	209
4.1.2	Risikopotentiale komplexer Systeme	211
4.1.3	Möglichkeiten und Grenzen der Steuerung komplexer Systeme	213
4.2	Syndrome: das Risikopotential des Globalen Wandels	214
4.2.1	Syndrome als Risikoverursacher und -verstärker	214
4.2.2	Klimarisiken durch Syndrome des Globalen Wandels	219
4.2.3	Risiken des Dust-Bowl-Syndroms	221
4.2.3.1	Quantitative Abschätzung der durch das Dust-Bowl-Syndrom hervorgerufenen Risiken	223
F	Risikopolitik	229
1	Risikobewertung und Wahl der Instrumente	231
1.1	Elemente der Risikobewertung	231

1.2	Bestimmung der Akzeptabilität eines Risikos	231
1.3	Verfahren der Allokation von Ressourcen zur Risikoreduktion	235
1.4	Instrumente der Risikosteuerung	236
2	Haftung	238
2.1	Struktur der privatrechtlichen Haftung	238
2.1.1	„Ökologische Schäden“ als Schadenskategorie	238
2.1.2	Fälle, in denen der Kausalitätsnachweis schwerfällt oder unmöglich ist	239
2.1.3	Verschuldens- oder Gefährdungshaftung	241
2.1.4	Die Rolle von Versicherungen	242
2.1.5	Verwirklichung des Haftungsanspruchs und Prävention	243
2.2	Haftung nach internationalem Umweltprivatrecht	243
2.2.1	Übereinkommen zum Internationalen Umwelthaftungsrecht	244
2.2.1.1	Übereinkommen zu Spezialmaterien	244
2.2.1.2	Allgemeine Übereinkommen zur Umwelthaftung	245
2.2.3	Verfahrensrechtliche Probleme	246
2.2.4	Empfehlungen zur Haftung nach internationalem Umweltprivatrecht	247
3	Umwelthaftungsfonds	249
4	Genehmigungsverfahren	252
5	Umweltabgaben und Zertifikate	255
5.1	Risikoprämien und umweltrelevante Innovationen	255
5.1.1	Kennzeichnung ökonomischer Anreizinstrumente	255
5.1.2	Anwendung ökonomischer Anreizinstrumente	257
5.2	Risikoprämien und umwelttechnischer Fortschritt	258
5.2.1	Ordnungsrecht	258
5.2.2	Umweltabgaben	258
5.2.3	Zertifikatelösungen	259
5.3	Fazit	259
6	Politische Lösungsstrategien	260
6.1	Einleitung	260
6.2	Risiken des Globalen Wandels und der Entwicklungszusammenarbeit	260
6.3	Stärkung der internationalen Risikobewältigungskapazität	262
7	Risikokommunikation	270
7.1	Werte und Normen in der Kommunikation	270
7.2	Kommunikative Kompetenzen	271
7.3	Darstellung von Risiken	272
7.4	Akteure der Risikokommunikation	273
8	Diskursive Verfahren	278
8.1	Leistungsfähigkeit diskursiver Verfahren	278
8.2	Klassifikation von Diskursen	279
8.3	Diskursive Verfahren im Überblick	279
8.4	Ein Verfahrensvorschlag zur diskursiven Bewältigung von Risiken	281
G	Strategien zum Umgang mit unbekanntem Risiken	283
1	Die Bedeutung unbekannter Risiken: Vermeidung „zukünftiger Ozonlöcher“	285
1.1	Unbekannte Umweltrisiken aus Routinetätigkeit und aus Innovationsprozessen	287
1.2	Zur Entstehung von Risiken	288

2	Entdeckung unbekannter Risiken als umweltpolitische Aufgabe	291
2.1	Die Anregung der Produktion ökologischen Wissens auf dezentraler Ebene	292
2.1.1	Umweltpolitische Instrumente und ihre wissensproduzierende Wirkung	292
2.1.2	Der Bedarf an unternehmensbezogenen umweltpolitischen Instrumenten für den Umgang mit unbekanntem Risiken	295
2.2	Produktion ökologischen Wissens durch Forschung: Früherkennung von Risiken durch den Syndromansatz	296
2.3	Asymmetrisch verteiltes Risikowissen als Problem einer rationalen Risikopolitik	299
3	Die Bedeutung kognitiver, motivationaler und sozialer Faktoren für den Umgang mit unbekanntem Risiken	301
3.1	Kognitive Risikofallen	301
3.1.1	Patzer und Schnitzer	301
3.1.2	Fehler	302
3.2	Motivationale Risikofallen	303
3.3	Soziale Risikofallen	304
3.4	Schlußfolgerungen	305
4	Präventives Risikomanagement bei Ungewißheit	306
4.1	Unvermeidbare Wissensdefizite	306
4.2	Struktur der Einwirkung anthropogener Systeme auf die Umwelt	307
4.3	Wissensmanagement	310
4.4	Agensmanagement	311
4.5	Reagensmanagement	312
4.6	Kombiniertes Management	314
4.7	Forschungs- und Handlungsempfehlungen	315
5	Synthese	316
H	Empfehlungen	319
1	Forschungsempfehlungen	321
1.1	Konzepte der Risikoforschung	321
1.2	Technologierisiken	321
1.3	Gesundheitsrisiken durch Seuchen	322
1.4	Biologische Risiken	322
1.5	Stoffrisiken	323
1.6	Klimarisiken	323
1.7	Naturkatastrophen	324
1.8	Risikoverstärker und -abschwächer	324
1.9	Risiken der Ernährungssicherheit	325
1.10	Risikopotentiale komplexer Umweltsysteme	325
1.11	Risikopolitik	325
1.12	Strategien zum Umgang mit unbekanntem Risiken	325
2	Handlungsempfehlungen	327
2.1	Handlungsempfehlungen für die Risikoreduzierung nach Risikotypen	327
2.2	Zentrale Handlungsempfehlungen	333
2.2.1	Ausbau der Gefährdungshaftung	333
2.2.2	Vorsorgliche Wissenserzeugung	334
2.2.3	Internationaler Mechanismus zur Risikofeststellung und -bewertung	334
2.2.4	Schaffung wirkungsvoller Kapazitäten der Risikobewältigung	336
2.2.5	Ökologische Kriterien der Entwicklungszusammenarbeit	337
2.2.6	Förderung der Risikomündigkeit	337

I	Literatur	339
J	Glossar	365
K	Der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen	371
L	Index	375

Kästen

Kasten C 1.5-1	Erfahrungen der Risikobewertung in der Schweiz	45
Kasten C 2.4-1	Kernprobleme des Globalen Wandels	51
Kasten C 4-1	Legende zu den Tabellen mit den Anwendungen der Kriterien auf Risikopotentiale	60
Kasten D 2.1-1	Legende zu den Tabellen mit den Anwendungen der Kriterien auf Risikopotentiale	75
Kasten D 4.2-1	Fallbeispiel: Die Goldene Apfelschnecke in Asien	106
Kasten D 4.2-2	Die biologische Schädlingsbekämpfung am Beispiel der Kaninchen in Australien	107
Kasten D 5.2-1	Stickstoffimporte über den Welthandel mit landwirtschaftlichen Produkten	124
Kasten D 5.2-2	Destabilisierung von Waldökosystemen: Realität oder Konstrukt?	127
Kasten D 6.2-1	Wechselwirkungen zwischen Stoffkreisläufen und Klima	138
Kasten D 6.3-1	Wissenschaftliche Beratung internationaler Umweltpolitik – das IPCC	141
Kasten D 6.3-2	Das Kyoto-Protokoll: Einstieg in ein internationales Risikomanagement	142
Kasten D 7.3-1	Die Internationale Dekade für Katastrophenvorbeugung (IDNDR)	157
Kasten D 7.3-2	Die Lehren aus dem Oderhochwasser von 1997	158
Kasten E 1.2-1	Die Wahrnehmung und Bedeutung eines Vulkanausbruchs auf Java, Indonesien	171
Kasten E 1.2-2	Die Love-Canal- und die TCE-Gemeinde als Fallstudien	172
Kasten E 1.2-3	Die Bedeutung der Kultur beim Umgang mit Risiken des Globalen Wandels: Beispiele aus der empirischen Forschung	174
Kasten E 1.4-1	Entwicklung neuer Technologie aus ökonomischer Sicht	186
Kasten E 2.2-1	Der Index für menschliche Entwicklung	189
Kasten E 4.2-1	Umweltdegradation als Risiko für die internationale Sicherheit?	227
Kasten F 5.1-1	Risiken für eine nachhaltige Nutzung durch falsche institutionelle Regelungen: Rattanproduktion in Ost-Kalimantan	256
Kasten F 6.3-1	Die Bewältigung von ökologischen Krisen als Aufgabe auch des UN-Sicherheitsrats?	265
Kasten F 6.3-2	Das Biosafety-Protokoll	266
Kasten F 6.3-3	Überblick über internationale Standardsetzung und Kontrollmechanismen	268
Kasten F 7.4-1	Richtlinien für Risiko- und Schadensdarstellungen	273
Kasten G 1.2-1	Innovationen: Risikoerhöhende oder risikoreduzierende Wirkungen?	288
Kasten G 2.1-1	Die Idee der Environmental bonds	294
Kasten G 2.1-2	Darstellung und Kritik der EU-Öko-Audit-Verordnung	297
Kasten G 4.2-1	Risikomanagement in der Technik	309

Tabellen

Tab. A 3-1	Die Risikotypen im Überblick: Charakterisierung und Beispiele	11
Tab. A 4-1	Strategien und Instrumente für den Risikotyp Damokles	14
Tab. A 4-2	Strategien und Instrumente für den Risikotyp Zyklon	15
Tab. A 4-3	Strategien und Instrumente für den Risikotyp Pythia	15
Tab. A 4-4	Strategien und Instrumente für den Risikotyp Pandora	16
Tab. A 4-5	Strategien und Instrumente für den Risikotyp Cassandra	17
Tab. A 4-6	Strategien und Instrumente für den Risikotyp Medusa	18
Tab. C 3.2-1	Bandbreite der Kriterien	56
Tab. C 4-1	Extremfälle der ausgewählten Bewertungskriterien	58
Tab. C 4.1-1	Idealtypische Tabelle für den Risikotyp Damokles	59
Tab. C 4.2-1	Idealtypische Tabelle für den Risikotyp Zyklon	61
Tab. C 4.3-1	Idealtypische Tabelle für den Risikotyp Pythia	61
Tab. C 4.4-1	Idealtypische Tabelle für den Risikotyp Pandora	62
Tab. C 4.5-1	Idealtypische Tabelle für den Risikotyp Cassandra	63
Tab. C 4.6-1	Idealtypische Tabelle für den Risikotyp Medusa	63
Tab. C 4.7-1	Die Risikotypen im Überblick: Charakterisierung und Beispiele	66
Tab. D 2.1-1	Anwendung der Kriterien auf das Risikopotential von Kernenergie	74
Tab. D 2.2-1	Anwendung der Kriterien auf das Risikopotential bei Frühwarnsystemen von Nuklearwaffen und auf Risiken von ABC-Waffensystemen	77
Tab. D 2.3-1	Anwendung der Kriterien auf bestimmte Anwendungen der Gentechnologie	82
Tab. D 2.4-1	Anwendung der Kriterien auf das Risikopotential elektromagnetischer Felder	83
Tab. D 3.1-1	WHO-Schätzung für die Haupttodesursachen 1996	85
Tab. D 3.2-1	Regionale HIV/AIDS-Statistiken und -Merkmale	88
Tab. D 3.2-2	Bestätigte BSE-Fälle in Großbritannien	94
Tab. D 3.2-3	Auftreten der Creutzfeldt-Jakob-Krankheit in europäischen Ländern	94
Tab. D 3.3-1	Anwendung der Kriterien auf das BSE-Risiko (in England)	97
Tab. D 4.2-1	Die maximal erreichbare weltweite Produktion an Getreide und anderen Feldfrüchten	102
Tab. D 4.2-2	Weltweite aktuelle Ernteverluste durch tierische Schädlinge, Pflanzenkrankheiten und Unkräuter	102
Tab. D 4.2-3	Beispiele schädlicher Algenblüten	103
Tab. D 4.2-4	Schätzungen des ökonomischen Schadens im philippinischen Reisanbau	106
Tab. D 4.2-5	Anwendung der Kriterien auf das Risikopotential der Massenentwicklungen nichtheimischer Arten	108
Tab. D 4.2-6	Anwendung der Kriterien auf das Risikopotential der Freisetzung und des Inverkehrbringens bestimmter transgener Pflanzen	112
Tab. D 5.2-1	Übersicht über mögliche Wirkungen und Risikopotentiale der anthropogenen Veränderung biogeochemischer Kreisläufe	127
Tab. D 5.2-2	Anwendung der Kriterien auf das Risiko der Destabilisierung von Ökosystemen durch Eingriffe in globale Stoffkreisläufe	129
Tab. D 5.3-1	Anwendung der Kriterien auf das Risiko persistenter organischer Verbindungen	131

Tab. D 6.4-1	Anwendung der Kriterien auf das mit der natürlichen Klimavariabilität verbundene Risiko	147
Tab. D 6.4-2	Anwendung der Kriterien auf das mit dem anthropogenen, schleichenden Klimawandel verbundene Risiko	147
Tab. D 6.4-3	Anwendung der Kriterien auf das mit einem Zusammenbruch der thermohalinen Zirkulation verbundene Risiko	148
Tab. D 7.1-1	Todesopfer und materielle Schäden durch Erdbeben und Vulkanismus in diesem Jahrhundert	152
Tab. D 7.2-1	Anwendung der Kriterien auf das Risiko von großen Überschwemmungen (mit guter Datenlage)	154
Tab. D 7.2-2	Anwendung der Kriterien auf das Risiko von Meteoriteneinschlägen an der Grenze zu globalen Auswirkungen	155
Tab. D 8-1	Die Risikotypen im Überblick: Charakterisierung und Beispiele	161
Tab. E 1.2-1	Unkorrektheiten in der Berichterstattung neuseeländischer Zeitungen über Globale Klimaveränderungen	177
Tab. E 2.2-1	Globale Einkommensunterschiede, 1960-1994	190
Tab. E 2.2-2	Nord-Süd Disparitäten der Lebenschancen, 1960-1990	191
Tab. E 4.2-1	Syndrome des Globalen Wandels	216
Tab. E 4.2-2	Wechselwirkung zwischen Syndromen und Verwundbarkeit	218
Tab. E 4.2-3	Durch das Dust-Bowl-Risiko besonders gefährdete Länder (Schadenspotential für den Agrarsektor)	225
Tab. E 4.2-4	Monetarisierte Wertsetzung der Leistungen verschiedener Ökosysteme	226
Tab. E 4.2-5	Die 15 weltweit kritischsten Oberlieger-Unterlieger-Interessenlagen	227
Tab. F 1.4-1	Instrumente der Risikopolitik (Übersicht)	237
Tab. F 7.4-1	Leitfaden für Risikovergleiche	274
Tab. F 8.4-1	Ablauf eines Entscheidungsprozesses zur Risikoregulierung unter Einbeziehung diskursiver Elemente	281
Tab. H 2.1-1	Strategien und Instrumente für den Risikotyp Damokles	329
Tab. H 2.1-2	Strategien und Instrumente für den Risikotyp Zyklon	329
Tab. H 2.1-3	Strategien und Instrumente für den Risikotyp Pythia	330
Tab. H 2.1-4	Strategien und Instrumente für den Risikotyp Pandora	331
Tab. H 2.1-5	Strategien und Instrumente für den Risikotyp Cassandra	332
Tab. H 2.1-6	Strategien und Instrumente für den Risikotyp Medusa	333

Abbildungen

Abb. A 2-1	Entscheidungsbaum zur Klassifizierung von Risiken des Globalen Wandels	7
Abb. A 2-2	Normal-, Grenz- und Verbotsbereich	8
Abb. A 2-3	Risikotypen im Normal-, Grenz- und Verbotsbereich	9
Abb. A 4.1-1	Dynamik von Risiken im Normal-, Grenz- und Verbotsbereich	19
Abb. C 1.5-1	Akzeptanzbereiche des Risikos nach Anhang G des Handbuchs I zur Störfallverordnung in der Schweiz	45
Abb. C 1.5-2	Normal-, Grenz- und Verbotsbereich	46
Abb. C 3.1-1	Dosis-Wirkungs-Funktion mit Fehlerkorridoren	54
Abb. C 4.7-1	Risikotypen im Normal-, Grenz- und Verbotsbereich	65
Abb. D 3.2-1	Entwicklung der Todesfälle durch HIV in den USA (Männer, Altersgruppe 25–44 Jahre)	89
Abb. D 3.2-2	Entwicklung der HIV-Infektionen in verschiedenen Risikogruppen in den USA	89
Abb. D 4.1-1	Einfluß des Menschen auf die Biota der Erde	98
Abb. D 4.2-1	Biomasse der Vegetation und Nitratausnutzung als Funktion der Artenzahl	99
Abb. D 4.2-2	Konzeptionelles Schema zur Abhängigkeit der mittleren Nettoprimärproduktion (NPP) von der Diversität der Pflanzenarten bzw. der Genotypen in der dominanten Lebensform	100
Abb. D 4.2-3	Bedeutung der Dominanz und Funktion einzelner Arten für die Ökosystemfunktionen	101
Abb. D 4.2-4	Hypothetische Beziehung zwischen Ökosystemfunktionen (ausgedrückt als Ökosystemprozeßraten) und Biodiversität	101
Abb. D 5.1-1	Dosis-Wirkungs-Kurven für verschiedene Stoffgruppen	118
Abb. D 5.2-1	Verteilung der mittleren jährlichen Deposition oxidiertes Stickstoffverbindungen (NO_x) im Zeitraum von 1980–1990	121
Abb. D 5.2-2	Verteilung der mittleren jährlichen Deposition reduzierter Stickstoffverbindungen (NH_x) im Zeitraum von 1980–1990	121
Abb. D 5.2-3	Verteilung der mittleren jährlichen Deposition oxidiertes Schwefelverbindungen (SO_x) im Zeitraum von 1980–1990	122
Abb. D 5.2-4	Verteilung der jährlichen Säuredeposition (H^+) im Zeitraum von 1980–1990	123
Abb. D 5.2-5	Überschreitung der Pufferkapazität von versauerten bzw. versauerungssensitiven Böden unter Waldökosystemen	125
Abb. D 5.2-6	Waldökosysteme auf versauerten bzw. versauerungssensitiven Böden mit erhöhten Stickstoffeinträgen	126
Abb. D 6.2-1	Direkte und indirekte Klimawirksamkeit von Stoffemissionen	138
Abb. D 6.2-2	Klimatische Lebensbedingungen in 3 Sektoren der Nordhalbkugel, nördlich von 40°N	140
Abb. D 6.3-1	Klimafenster des WBGU und ergänzender Instabilitätsbereich der thermohalinen Zirkulation	145
Abb. D 7.1-1	Kumulative Energiehäufigkeitsverteilung von Meteoriteneinschlägen auf der Erde	153
Abb. D 8-1	Synopse	160

Abb. E 1.1-1	Ereignisse und Konsequenzen am Beispiel der Waldbrände in Indonesien 1997	166
Abb. E 1.1-2	7 Stufen einer „Risikokette“ am Beispiel der Kernenergie	166
Abb. E 1.2-1	Übersicht soziokultureller, sozialer und individueller Risikoverstärker	169
Abb. E 1.3-1	Grad der Interaktion und Kopplung bei verschiedenen Organisationen	183
Abb. E 1.4-1	Ineffiziente Technologiewahl	187
Abb. E 2.3-1	Analytisches Modell von Verwundbarkeit	197
Abb. E 2.3-2	Die Doppelstruktur von Verwundbarkeit	197
Abb. E 4.2-1	Klimasensitivität und -wirksamkeit der Syndrome des Globalen Wandels	220
Abb. E 4.2-2	Beziehungsgeflecht des Dust-Bowl-Syndroms	222
Abb. E 4.2-3	Intensität des Dust-Bowl-Syndroms	223
Abb. E 4.2-4	Risiko für die Landwirtschaft durch das Dust-Bowl-Syndrom	224
Abb. E 4.2-5	Risiko durch die Ausbreitung des Dust-Bowl-Syndroms in disponierte Regionen	226
Abb. F 6.3-1	Institutionelle Einbindung eines (UN) Risk Assessment Panel	264
Abb. F 7.3-1	Das Nachrichtenquadrat	272
Abb. G 4.2-1	Struktur des Zustands der „kausalen Ignoranz“	307
Abb. G 4.3-1	Managementoptionen im Zustand der „kausalen Perzeption“	310
Abb. G 4.4-1	Ausschluß	311
Abb. G 4.4-2	Umlenkung	311
Abb. G 4.4-3	Begrenzung	311
Abb. G 4.5-1	Expositionsminde rung	312
Abb. G 4.5-2	Schutz	312
Abb. G 4.5-3	Modularität	312
Abb. G 4.5-4	Elastizität	313
Abb. G 4.5-5	Redundanz	313
Abb. G 4.5-6	Diversität	313
Abb. G 4.5-7	Kompensation	313
Abb. G 4.6-1	Anpassung	314
Abb. G 4.6-2	Iteration	314
Abb. G 4.6-3	Fuzzy Control	314
Abb. H 2.1-1	Entscheidungsbaum zur Klassifizierung von Risiken des Globalen Wandels	328

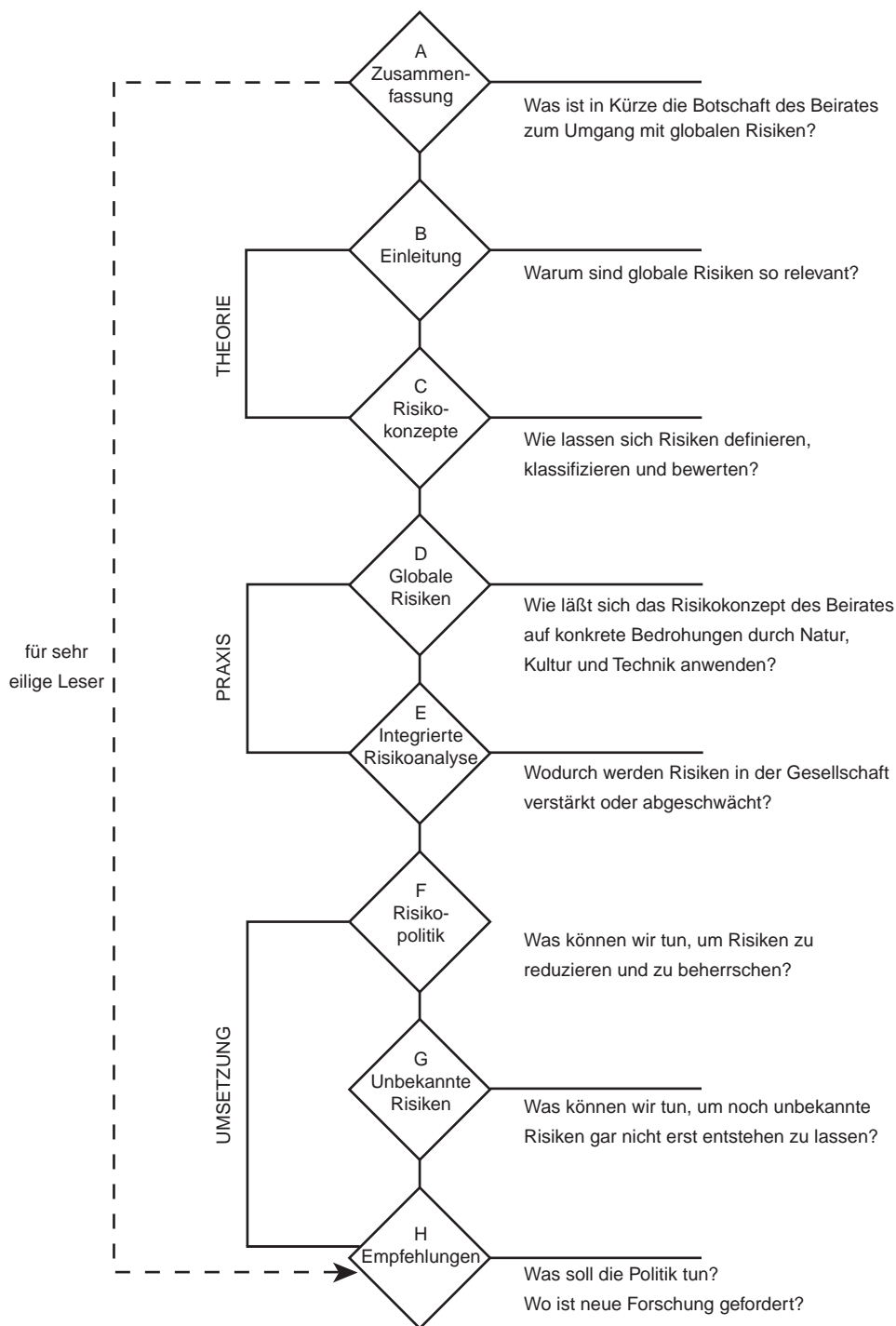
Akronyme

AIA	Advanced Informed Agreement
AIDS	Acquired Immune Deficiency Syndrome
ALARA	As Low As Reasonably Achievable (Prinzip der geringstmöglichen Emission)
APEOs	Alkylphenolethoxylates
ASP	Amnesic Shellfish Poisoning
BACT	Best Available Control Technology
BC	Basalzellkarzinom der Haut
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMG	Bundesministerium für Gesundheit
BMI	Bundesministerium des Innern
BMJ	Bundesministerium der Justiz
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
BSE	Bovine Spongiforme Enzephalopathie
BSP	Bruttosozialprodukt
BSWG	Biosafety Working Group
B. t.	<i>Bacillus thuringiensis</i>
BverwG	Bundesverwaltungsgesetz
BWÜ	Übereinkommen über das Verbot biologischer Waffen
BZÜ	Brüsseler Zusatzübereinkommen über die Haftung Dritter auf dem Gebiet der Kernenergie
CDC	Centers for Disease Control and Prevention (USA)
CDM	Clean Development Mechanism
ChemG	Chemikaliengesetz
CJD	Creutzfeld-Jakob-Krankheit
CKW	Chlorkohlenwasserstoffe
CWÜ	Übereinkommen über das Verbot chemischer Waffen
DDT	Dichlordiphenyltrichloräthan
DEHP	Bis-2-Äthylhexylphthalat
DES	Diäthylstilböstrol
DIVERSI-TAS	International Programme of Biodiversity Science (IUBS, SCOPE, UNESCO, ICSU, IGBP-GCTE, IUMS)
DNA	Desoxyribonucleic Acid
ECHAM	Klimamodell, auf dem ECMWF-Modell aufbauend
ECMWF	European Centre for Mediumrange Weather Forecast
ECO HAB	Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms Programme (USA)
EMF	elektromagnetisches Feld
EMS	Environmental Management System
ENSO	El Niño/Southern Oscillation
EuG-VÜ	Brüsseler EWG-Übereinkommen über die gerichtliche Zuständigkeit und Vollstreckung gerichtlicher Entscheidungen in Zivil- und Handelssachen
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations

FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
FEWS	Famine Early Warning System (USAID)
GAU	größter anzunehmender Unfall
GCTE	Global Change and Terrestrial Ecosystems (IGBP)
GDCh	Gesellschaft deutscher Chemiker
GenTG	Gentechnikgesetz
GenTVfV	Gentechnikverfahrensordnung
GISP	Global Invasive Species Programme (DIVERSITAS)
GPA	Global Programme on AIDS (WHO)
GPPIS	Global Plant Protection Information System (FAO)
HCB	Hexachlorbenzol
HDI	Human Development Index (UN)
HIV	Human Immun Deficiency Virus
HNS	Hazardous and Noxious Substances
HSFK	Hessische Stiftung Friedens- und Konfliktforschung
IAEO	International Atomic Energy Organisation
ICAO	International Civil Aircraft Organisation
ICSU	International Council of Scientific Unions
IDNDR	International Decade for Natural Disaster Reduction
IFCS	Intergovernmental Forum on Chemical Safety
IGBP	International Geosphere Biosphere Programme (ICSU)
ILO	International Labour Organization
IMAGE 2	Globales Integrated-Assessment-Modell
IMO	International Maritime Organisation
INF	Intermediate-Range Nuclear Forces
IPCC	International Panel on Climate Change (WMO, UNEP)
IRPTC	International Register of Potentially Toxic Chemicals (UNEP)
ISO	International Organization for Standardization
IUBS	International Union of Biological Sciences
IUMS	International Union of Microbiological Societies
IVU	EG-Richtlinie über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung
IWF	Internationaler Währungsfonds
KOSIMO	Konflikt-Simulations-Modell
LMOs	Living Modified Organisms
LugÜ	Luganer Übereinkommen des Europarats
MAK	Maximale Arbeitsplatzkonzentration (Schadstoffe)
MARPOL	International Convention for the Prevention of Pollution from Ships
MEHP	Mono(2-Äthylhexyl)phthalat
MOGUNTIA	Globales atmosphärisches Transportmodell
NPP	Nettoprimärproduktion
NRO	Nichtregierungsorganisation
nv-CJD	neue Variante der Creutzfeld-Jakob-Krankheit
NVV	Vertrag über die Nichtverbreitung von Kernwaffen
OECD	Organisation for Economic Co-Operation and Development
OSPAR	Oslo-Paris-Konvention zum Schutz der Meeresumwelt des Nordost-Atlantik
PC	Plattenepithelkarzinom der Haut
PCB	polychlorierte Biphenyle
PCDD	polychlorierte Dibenzo- <i>p</i> -Dioxine
PCDF	polychlorierte Dibenzo- <i>p</i> -Furane
PIC	Prior Informed Consent
POP	Persistent Organic Pollutant
ProdHG	Produkthaftungsgesetz
RAINS	Regional Integrated Assessment Model
RiVP	Risikoverträglichkeitsprüfung

RNA	Ribonucleic Acid
SBO	specified bovine offals
SCOPE	Scientific Committee on Problems of the Environment (ICSU)
SNK	Säureneutralisationskapazität
SRU	Rat von Sachverständigen für Umweltfragen
SSM	oberflächlich spreitendes Melanom
START	Strategic Arms Reduction Talks
STC	Scientific Technical Committee (IDNDR)
STD	Sexually Transmitted Diseases
StfV	Störfallverordnung, Schweiz
STOA	Scientific and Technological Options Assessment Unit (Europäisches Parlament)
TBT	Tributylzinn
TCE	Trichloräthylen
THC	Thermohaline Circulation
TNT	Trinitrotoluol
TOGA	Tropical Ocean Global Atmosphere Programme (WCRP)
TOVALOP	Tanker Owners Voluntary Agreement Concerning Liability for Oil Pollution
UBA	Umweltbundesamt, Berlin
ÜbV	Übereinkommen über biologische Vielfalt
UGB-	Umweltgesetzbuch Kommissionsentwurf
KomE	
UmweltHG	Umwelthaftungsgesetz
UNAIDS	The Joint United Nations Programme on HIV/AIDS
UNCED	United Nations Conference on Environment and Development, „Rio-Konferenz 1992“
UNDP	United Nations Development Programme
UN-ECE	United Nations Economic Commission for Europe
UNEP	United Nations Environment Programme
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
UNFPA	United Nations Population Fund
UNICEF	United Nations Children Fund
UNIDO	United Nations Industrial Development Organization
UNITAR	United Nations Institute for Training and Research
USAID	United States Agency for International Development
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
WBGU	Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen
WCRP	World Climate Research Programme (WMO)
WFP	World Food Programme (UN)
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WHO	World Health Organization (UN)
WMO	World Meteorological Organization (UN)
WTO	World Trade Organization (UN)
ZPO	Zivilprozeßordnung

Welt im Wandel: Strategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken Leitfaden für den Leser



**Zusammenfassung: Zentrale
Handlungsstrategien zur Bewältigung
globaler Umweltrisiken**

A

Globale Risikopotentiale und ihre Wechselwirkungen mit ökonomischen, sozialen und ökologischen Wandlungsprozessen sind zu einer Herausforderung für die internationale Gemeinschaft geworden. Niemals zuvor haben die Eingriffe des Menschen in die Natur eine globale Reichweite erreicht. Dazu haben auf der einen Seite u. a. die Zunahme der Weltbevölkerung, v. a. in den Entwicklungsländern, und auf der anderen Seite die Erhöhung des Anspruchsniveaus der Menschen in Verbindung mit einer bestimmten Wirtschafts- und Produktionsweise (Durchflußwachstum), v. a. in den Industrieländern, beigetragen. Mit diesem Gutachten will der Beirat einen konstruktiven Beitrag zu einem effektiven, effizienten und sachlichen Umgang mit Risiken des Globalen Wandels leisten, indem

- global relevante *Risiken* typisiert und dabei die besonders gravierenden Risikotypen herausgestellt werden,
- diesen Typen sowohl bewährte als auch innovative Strategien zur Risikobewertung sowie entsprechende Instrumente für das Risikomanagement zugeordnet werden, so daß daraus *Management-prioritäten* festgelegt werden können.

Bei der Frage nach dem Umgang mit globalen Risiken spielt die Vorgehensweise bei der Wissensgenerierung und -anwendung zur Erfassung und Behandlung von Risiken eine entscheidende Rolle. Zunächst ist offensichtlich, daß eine Abkehr von dem in der empirischen Wissenschaft bislang dominierenden Prinzip „Versuch und Irrtum“ in weiten Teilen unumgänglich ist, da ein Irrtum mit globalen Folgen zu inakzeptablen Schäden führen könnte. Das Motto „Abwarten und die eventuell auftretenden Schäden bekämpfen“ ist in einer global vernetzten Welt, in der Katastrophen schneller globale Ausmaße annehmen können als je zuvor, keine ethisch verantwortbare Handlungsmaxime. Umweltrisiken der Vergangenheit waren in der Regel auf Regionen beschränkt. Die Entwaldung Griechenlands im Altertum hat bis heute die Nutzungspotentiale der Böden aufgrund von Erosion und Verkarstung deutlich reduziert, aber diese Umweltbeeinträchtigung blieb lokal beschränkt (Mohr, 1995). Dagegen sind viele der heuti-

gen Umweltrisiken globaler Natur. Wenn der Golfstrom versiegt, der Meeresspiegel ansteigt oder eine neue Spanische Grippe die gesamte Welt heimsuchen sollte, dann sind die Konsequenzen für die Menschheit so einschneidend und möglicherweise auch irreversibel, daß selbst bei geringen Eintrittswahrscheinlichkeiten eine frühzeitige Gegenstrategie dringend erforderlich ist. Je weitreichender die möglichen Folgen sind und je weniger Kompensationsmöglichkeiten bestehen, desto wichtiger ist eine an Vorsorgemaßnahmen orientierte Risikopolitik, um globale Katastrophen so weit wie möglich zu vermeiden.

Gleichzeitig ist es aber unmöglich, sich gegen alle globalen Risiken abzusichern, zumal mit Risiken auch Chancen verbunden sind. Der amerikanische Soziologe Aaron Wildavsky hat dieses Dilemma mit dem treffenden Satz „No risk is the highest risk at all“ beschrieben (Wildavsky, 1984). Aus diesem Grund sieht der Beirat dieses Gutachten auch als einen Versuch, durch eine kluge Verbindung von Genehmigungen, staatlichen Regulierungen und Haftungsregeln sowie die Anwendung staatlicher Vorsorgeprinzipien bzw. institutioneller Vorkehrungen ein höheres Maß an Zuversicht in die Managementkapazität moderner Gesellschaften zu geben und damit zu einer Versachlichung der internationalen Risikodebatte beizutragen. Versachlichung bedeutet in diesem Zusammenhang nicht, die potentiellen Opfer der Risiken für ihre verständliche Risikoscheu zu maßregeln. Noch weniger geht es um eine Verharmlosung globaler Risiken. Vielmehr versteht der Beirat den Begriff der Versachlichung als eine dringend gebotene Aufforderung, den realen Gefahren mit allen damit verbundenen Unsicherheiten und Mehrdeutigkeiten zielführend, rational und effizient zu begegnen, und gleichzeitig die mit dem Eingehen von Risiken verbundenen Chancen zu nutzen. Ohne Risikobereitschaft werden sich keine Innovationen durchsetzen können. Ohne Innovationen werden wiederum die globalen wirtschaftlichen und ökologischen Probleme ungelöst bleiben. Es gilt also, zwischen Vorsicht und Wagnis den richtigen Mittelweg zu finden.

Diesen Mittelweg zu finden wird dadurch erschwert, daß der empirisch orientierten Forschung die Möglichkeit fehlt, die Folgen von globalen Umweltrisiken experimentell nachzuweisen oder sogar vorherzusagen. Wenn man auch in Modellversuchen Teilaspekte globaler Risiken untersuchen kann, so sind die empirischen Testversuche für globale Auswirkungen aus naheliegenden Gründen begrenzt. Niemand wird beispielsweise ausprobieren wollen, ob ein Schadensereignis in einem Kernkraftwerk, das knapp über ein noch beherrschbares Unfallszenario hinausgeht, wirklich zu den vorausgesagten Folgen für Gesundheit und Umwelt führen wird. Noch schwieriger wird ein empirischer Überprüfungsversuch beim Nachweis von geophysikalischen Risiken.

Erstmals in der Geschichte der Menschheit stellen anthropogene Emissionen einen erheblichen Anteil an natürlichen Stoffkreisläufen. Messungen können zwar die Dynamik und Verteilung der Konzentrationen widerspiegeln, sie sagen aber wenig über die langfristigen Folgen aus. Auch Versuche in Labors, diese Folgen auf kleinerem Skalenniveau zu modellieren, stoßen schnell an Grenzen der Übertragbarkeit. In diesem Fall ist die Wissenschaft weitgehend auf Analogieschlüsse (etwa im Bereich der medizinischen Risiken) oder auf Computersimulation (etwa im Bereich der Klimarisiken) angewiesen. Nichtlineare Prozesse und komplexe Wirkungsmuster in der Natur lassen sich aber bisher nur bedingt durch Modellierung, Simulationen oder andere methodische Werkzeuge erfassen. Bedenkt man darüber hinaus, daß gerade in der Ökologie diese nichtlinearen und komplexen Ursache-Wirkungs-Ketten vorherrschen, dann ist die Aussagekraft wissenschaftlicher Prognostik zwangsweise von hohen Unsicherheiten und Mehrdeutigkeiten geprägt, die sich auch bei großem Aufwand nur bedingt reduzieren lassen (Kap. E). Es führt also kein Weg daran vorbei, daß Risikopolitik in einem Nebel von Ungewißheit, Unwissenheit, Unsicherheit und Unbestimmtheit nach einem sachgerechten und ethisch verantwortbaren Pfad suchen muß (Kap. G).

Vor diesem Hintergrund möchte der Beirat mit seinem Jahresgutachten durch eine sorgfältige Analyse und Bewertung der Risiken des Globalen Wandels eine sachliche Auseinandersetzung um die Akzeptabilität von Risiken fördern. Wie in seinen früheren Gutachten will der Beirat auch in Bezug auf globale Risiken spezifische Leitplanken aufzeigen, deren Überschreitung unverhältnismäßige Schäden für Mensch und Umwelt hervorbringen kann. Bei riskanten Aktivitäten erweitern sich die Leitplanken zu einem Grenzbereich im Sinn einer kritischen Zone. Fällt ein Risiko in den Grenzbereich, dann sind besondere Sorgfalt und spezielle Vorsorgemaßnahmen angebracht.

Dabei können Risiken des Globalen Wandels nach Ansicht des Beirats nur mit Hilfe einer systematischen Analyse hinreichend genau abgeschätzt und effektiv begrenzt werden. Denn die für das Mensch-Umwelt-Verhältnis typischen Probleme überschneiden sich gegenseitig und bilden eine komplexe Struktur von Auslösern, Modulatoren und Effekten. Beispielsweise überlagern sich die Risiken durch Klimawandel, Verlust der biologischen Vielfalt, Boden-degradation und Ernährungsunsicherheit mit typischen Erscheinungen des Globalen Wandels wie Verstädterung, Bevölkerungswachstum, Migration oder Verarmung. Auch politische Faktoren (z. B. Menschenrechte, Art der Regierungsführung, institutionelle Stabilität und Vertrauenswürdigkeit) spielen hierbei eine wesentliche Rolle.

Die Bewältigung der Risiken des Globalen Wandels sollte dabei grundsätzlich so nah wie möglich an den individuellen Risikoverursachern ansetzen, d. h. nach Möglichkeit auf der lokalen oder regionalen Ebene. Insofern begrüßt der Beirat eine Managementphilosophie, die zunächst weitgehend auf das Haftungsprinzip setzt. Dafür müssen aber die Rahmenbedingungen in den einzelnen Ländern geeignet sein oder entsprechende Bedingungen geschaffen werden. Viele globale Risiken, v. a. wenn die Schadenshöhe weitgehend ungewiß ist, erfordern darüber hinaus eine überregionale und staatliche bzw. internationale Regelung (Kap. H 2).

Es sind nicht nur die Eigenschaften globaler Probleme, die eine globale Risikoversorgepolitik erforderlich machen, es ist auch die zwischen den Ländern bestehende Ungleichheit in der Kapazität, mit solchen Risiken effektiv und effizient umzugehen, die internationale Anstrengungen zu einer nationenübergreifenden Kooperation und Koordination von Risikoversorge und Katastrophenschutz sinnvoll erscheinen lassen. Der Beirat sieht solche Disparitäten insbesondere bei der Erfassungs- und Bewertungskapazität in Bezug auf globale Risiken, bei der entsprechenden Managementkompetenz sowie bei der Anfälligkeit (Verwundbarkeit) gegenüber den Risiken des Globalen Wandels. Zum Beispiel sind die Regierungen mancher Entwicklungsländer nur unzureichend oder nur zeitverzögert in der Lage, neue Risiken zu bewerten und wirksame Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Hinzu kommt, daß viele Länder nur wenig ausgeprägte institutionelle Vorkehrungen zum Risikomanagement und zum Katastrophenschutz ausgebildet haben. Auch strukturelle Defizite und Implementierungsprobleme sind hier zu nennen. Deshalb spricht der Beirat der finanziellen und technischen Entwicklungszusammenarbeit eine besondere Rolle in einer globalen Risikoversorge zu. Darüber hinaus erfordern Risiken des Globalen Wandels, bei denen international hoch bewertete

Schutzgüter betroffen oder globale Wirkungen zu erwarten sind, ein Management auf globaler Ebene. Dies wird deutlich an Beispielen wie einer möglichen Welternährungskrise (Kap. E 3.2), dem globalen Klimawandel (Kap. D 6) oder der Ausbreitung „alter“ und neuer Seuchen (Kap. D 3 und E 3.1).

Bei der Vielzahl von Risiken und möglichen Bedrohungen auf der einen und der unbestrittenen Notwendigkeit zur Förderung von Innovationen und neuen technischen Entwicklungen auf der anderen Seite hofft der Beirat, durch die Kombination von Leitplankenphilosophie, Betonung des Haftungsprinzips und einer managementorientierten Klassifizierung von Risikotypen eine dem Risikophänomen angemessene und gleichzeitig praktikable Vorgehensweise entwickelt zu haben, die einen Beitrag zu einer risikobegrenzenden und chancenfördernden Gestaltung des Globalen Wandels leisten kann. Kernelemente dieses Konzeptes sind Maßnahmen zur besseren Auswertung bereits vorhandenen bzw. zur Generierung neuen Wissens sowie Strategien zur „Eingrenzung von Risiken“. Dadurch werden je nach Risikotyp gestufte Antworten und angepaßte Begrenzungsinstrumente entwickelt (Kap. H 2).

Die folgenden Handlungsstrategien sind deshalb von dem Leitgedanken getragen, Entscheidungshilfen bereitzustellen, die auf der einen Seite sicherstellen, daß die Staatengemeinschaft in ihrer Handlungsfähigkeit und Innovationskraft nicht erlahmt oder gar in einer unproduktiven Vorsichtshaltung verharrt, und auf der anderen Seite Gewähr dafür bietet, daß die Bedrohungspotentiale globaler Risiken nicht verdrängt, sondern beherzt und vorsorgeorientiert angegangen werden. Diese Empfehlungen sind auf die Typologie von Risiken ausgerichtet, die der Beirat für dieses Gutachten entwickelt hat. Diese Risikotypen sind ausführlich in Kap. C abgeleitet und im Kap. H zur Begründung von typenbezogenen Strategien herangezogen worden. Diese Typen werden auch bei den Verfahrensvorschlägen zum Umgang mit defizitärem Wissen (Kap. G 4) und zum Management globaler Risiken (Kap. F 6) angesprochen.

2 Einordnung der Risiken nach Normal-, Grenz- oder Verbotsbereich

Die Menschheit ist einer kaum zählbaren Vielfalt von Risiken ausgesetzt. Ein Teil dieser Risiken ist mit natürlichen Abläufen und Ereignissen verbunden, andere sind aufgrund von menschlichen Aktivitäten entstanden oder verstärkt worden. Das grundsätzliche Dilemma besteht darin, daß alle menschlichen Aktivitäten mit unbeabsichtigten Nebenwirkungen verbunden sein können, gleichzeitig aber die Bedürfnisse des Menschen ohne derartige Aktivitäten nicht zu erfüllen sind. Risiken einzugehen, ist also ein notwendiger Bestandteil menschlichen Verhaltens und damit erst die Voraussetzung für wirtschaftliche und soziale Entwicklung. Gleichzeitig aber ist eine Risikoanhäufung für eine Gesellschaft existenzgefährdend: Wie oben aufgeführt gilt es, einen Mittelweg zwischen Chancenwahrnehmung und Risikobegrenzung zu finden.

Der Beirat ist der Überzeugung, daß es keine Rezepte gibt, Risiken pauschal zu bewerten. Vor dem Hintergrund weltweit divergierender Präferenzen und Entwicklungszustände müssen Risiken als heterogene Phänomene angesehen werden, die eine einheitliche Bewertung und Behandlung verbieten. Gleichzeitig ist aber die Risikopolitik überfordert, wenn sie bei jeder Aktivität eine eigene Strategie zur Risikobeurteilung entwickeln und einsetzen würde. Ähnlich wie es heute bereits bei der Bewertung von toxikologischen Risiken üblich ist, erscheint dem Beirat eine Aufteilung der verschiedenen Risiken in Risikotypen sinnvoll. Die Einteilung in diese Risikotypen ist v. a. von dem Grundanliegen getragen, typenspezifische Verfahrensweisen und Managementregeln zu entwickeln, die einen den Risiken angemessenen und dem Begrenzungsauftrag angepaßten Umgang mit Risiken erlauben.

Das vom Beirat empfohlene Verfahren zum Umgang mit Risiken läßt sich in einem einfachen *Entscheidungsbaum* darstellen (Abb. A 2-1). Stehen ein Betreiber, eine Regulierungsbehörde oder eine andere an einer riskanten Aktivität oder Technik interessierte Gruppe vor der Frage der Risikobewertung, dann sollten die Fragen beantwortet werden, die im Entscheidungsbaum aufgeführt sind. An der Spitze des Baumes steht die Frage, ob die Risiken einer neu-

en Aktivität oder Technologie soweit bekannt sind, daß man einen begründeten Verdacht für eine kausale Beziehung zwischen dem Risikoauslöser und möglichen Schadenswirkungen feststellen, die potentiellen Schäden zumindest identifizieren und die Wahrscheinlichkeiten grob schätzen kann. Sind die Risiken nahezu oder völlig unbekannt, sind die klassischen Vorsorgestrategien gefragt, die aus 3 Teilen bestehen: eine vorsichtige, auf Eindämmung der Risiken ausgerichtete Weiterentwicklung der risikoezeugenden Aktivitäten, eine Stärkung der Resilienz betroffener Systeme und (Begrenzungsstrategie) eine Intensivierung der Forschungsanstrengungen, um in Zukunft eine eindeutige Einordnung in die verschiedenen Risikotypen zu ermöglichen und mögliche Nebenwirkungen frühzeitig zu erfassen, und schließlich die Institutionalisierung eines Frühwarnsystems zur Erkennung und Erforschung von Risiken (Kap. G 4).

Kommt man bei der ersten Frage zu dem Schluß, daß ein begründeter Verdacht zwischen Auslöser und Wirkung vorliegt, die Schadenspotentiale weitgehend identifizierbar sind und die Wahrscheinlichkeiten grob abgeschätzt werden können, dann stellt sich die 2. Frage, ob es sich um ein Risiko aus dem Normalbereich, dem Grenzbereich oder dem Verbotsbereich handelt. Die Unterscheidung in die 3 Bereiche ist in Kap. C ausführlich beschrieben und in Abb. A 2-2 grafisch zusammengefaßt worden. Risiken im *Normalbereich* zeichnen sich durch folgende Eigenschaften aus:

- Geringe Ungewißheiten in Bezug auf die Wahrscheinlichkeitsverteilung von Schäden,
- insgesamt eher geringes Schadenspotential,
- insgesamt geringe bis mittlere Eintrittswahrscheinlichkeit,
- geringe Persistenz und Ubiquität (zeitliche und örtliche Ausdehnung),
- weitgehende Reversibilität des potentiellen Schadens,
- geringe Schwankungsbreiten von Schadenspotential und Eintrittswahrscheinlichkeiten und
- geringes soziales Konflikt- und Mobilisierungspotential (v. a. keine deutlichen Bewertungsdiskre-

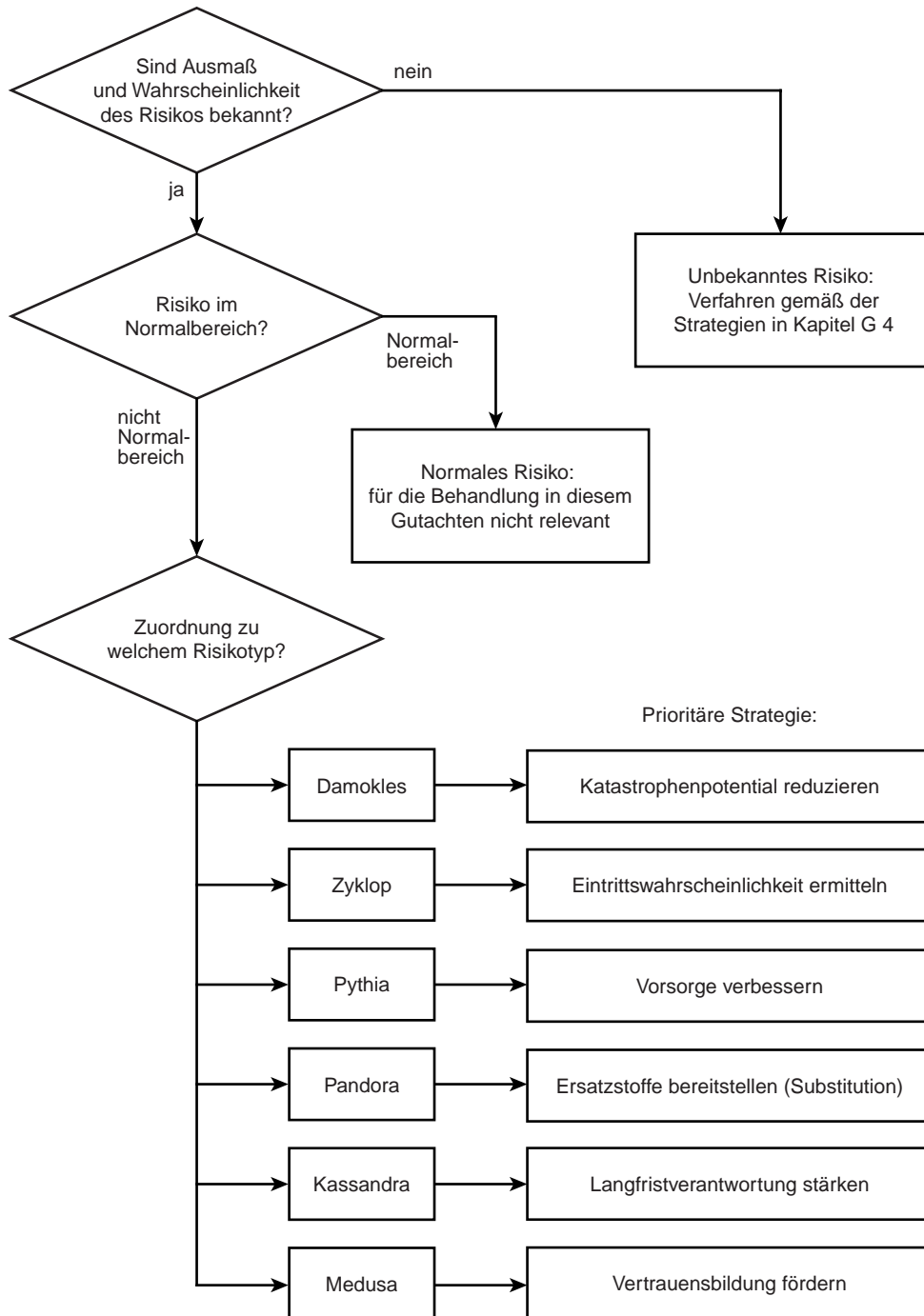


Abbildung A 2-1
 Entscheidungsbaum zur Klassifizierung von Risiken des Globalen Wandels.
 Quelle: WBGU

panzen zwischen der Gruppe der Risikoträger und der Gruppe der Chancen- bzw. Nutzengewinner). In diesem Fall ist eine multiplikative Verknüpfung von Schadensausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit

keit unter Einbeziehung der jeweiligen Varianzen sinnvoll und angemessen, wie dies in der technischen Risikoanalyse und der Versicherungswirtschaft seit vielen Jahren praktiziert wird. Sind die beiden Faktoren Schadensausmaß und Wahrscheinlichkeit relativ

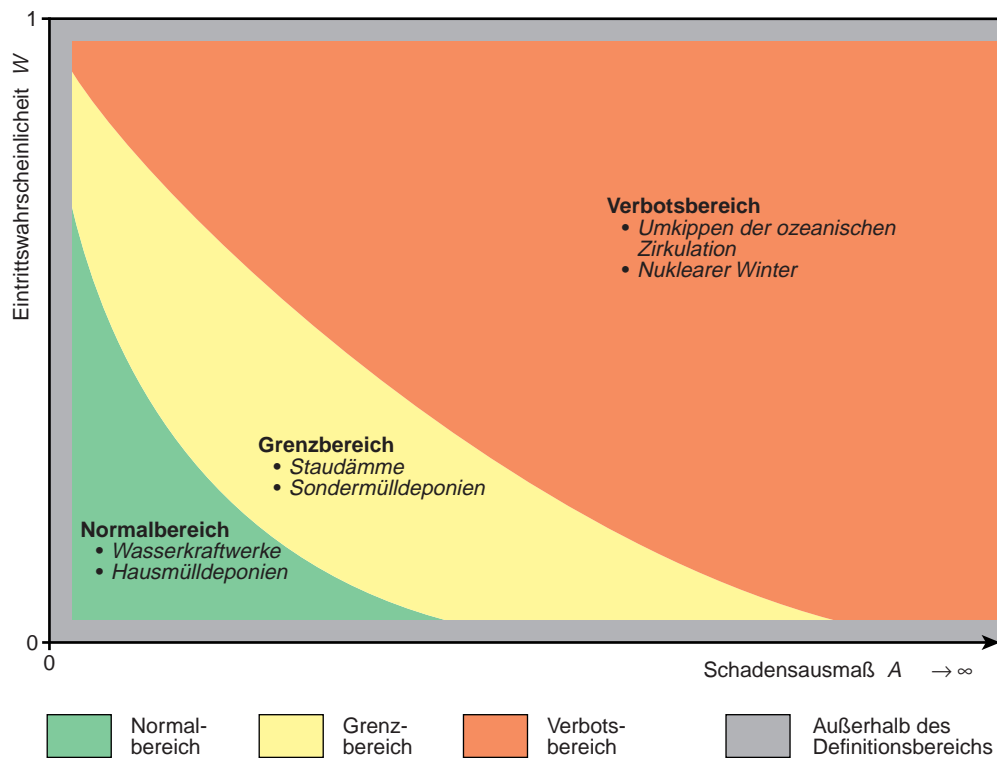


Abbildung A 2-2
Normal-, Grenz- und Verbotsbereich.
Quelle: WBGU

klein, dann fällt auch das Produkt der beiden in den Normalbereich. Für Politiker signalisieren Risiken in diesem Bereich den „Routinefall“, bei dem zumindestens in Europa und in vielen anderen Ländern die bestehenden rechtlichen Vorschriften meist ausreichen. Hier könnte man sogar an zusätzliche Deregulierungsmaßnahmen denken. Wie im nationalen Anwendungsbereich, so sieht der Beirat bei den Normalrisiken auch im internationalen Rahmen keinen unmittelbaren Handlungsbedarf.

Die meisten Risiken werden bereits nach der 2. Frage ausgesiebt worden sein. Die Festlegung eines Normalbereichs erlaubt somit eine effektive und innovationsfördernde Politik zur Wahrnehmung von Chancen, so daß es möglich sein wird, Chancen und Risiken einander gegenüberzustellen und systematisch abzuwägen.

Problematischer ist dagegen der Fall, daß die Risiken Bereiche berühren, die über das alltägliche Ausmaß deutlich hinausgehen. Der *Grenzbereich* wird unter folgenden Bedingungen erreicht:

- Die Ungewißheit über die Wahrscheinlichkeitsverteilung von Schäden ist hoch,
- das Schadenspotential ist hoch,
- die Eintrittswahrscheinlichkeit ist hoch – sie geht

gegen 1 (dieser Fall ist, sofern keine der anderen Bedingungen gegeben ist, unter globalen Bedingungen wenig relevant),

- die Schwankungsbreiten von Schadenspotential und Eintrittswahrscheinlichkeit sind hoch,
- Persistenz, Ubiquität und Irreversibilität sind besonders hoch, wobei ein begründeter Verdacht einer kausalen Beziehung zwischen Auslöser und Folgen vorliegen muß,
- aus Gründen der wahrgenommenen Verteilungsgerechtigkeiten oder anderer sozialer und psychischer Faktoren ist mit einem großen Konflikt- bzw. Mobilisierungspotential (Abwanderung, Verweigerung, Protest, Widerstand) zu rechnen.

Liegt eine dieser Voraussetzungen vor, dann befindet sich das Produkt aus Wahrscheinlichkeit und Schadensausmaß meist im Grenzbereich. Wenn zu dem hohen Risiko auch noch ein geringer Nutzen oder eine geringe Chancenerwartung hinzukommen oder das Produkt der beiden Risikokomponenten extreme Ausmaße annimmt, dann befindet sich das Risiko im *Verbotsbereich*. Auch dieser Bereich ist leicht zu handhaben. Im Verbotsbereich sind die erwartbaren Folgen, die mit dem Eingehen eines Risikos verbunden sind, so gravierend, daß eine unbedingte Risiko-

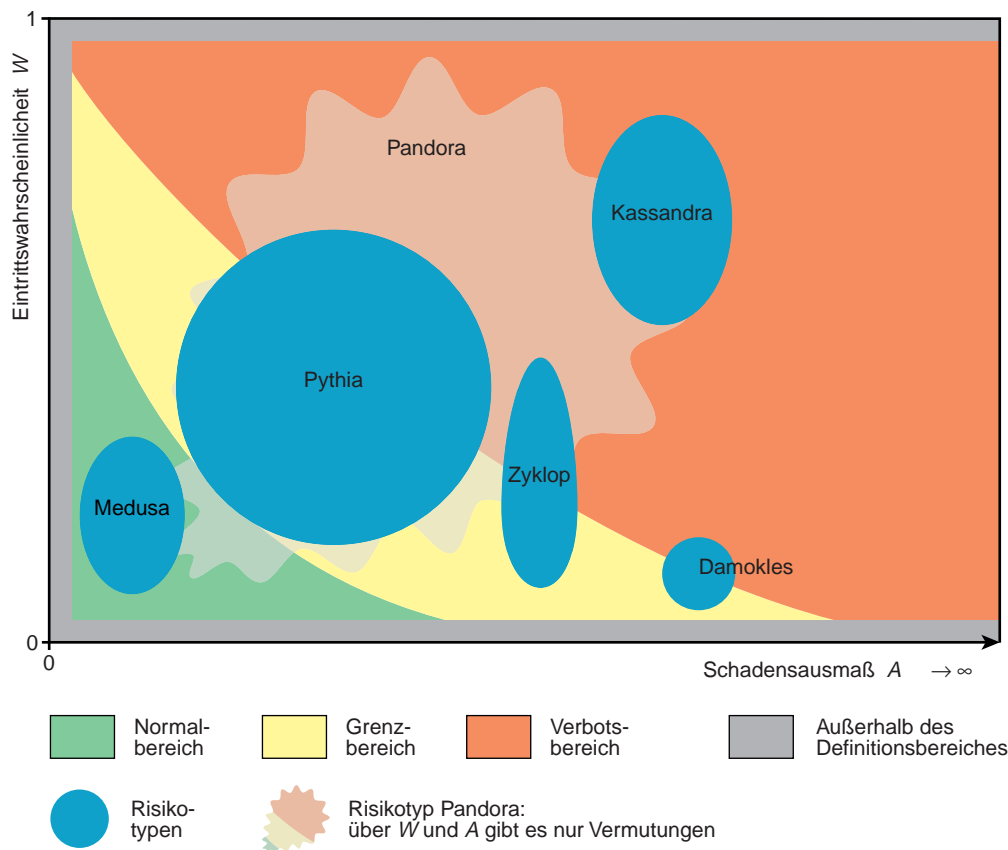


Abbildung A 2-3
Risikotypen im Normal-, Grenz- und Verbotsbereich.
Quelle: WBGU

reduktion zu erfolgen hat. Im Extremfall ist hier sofort mit einem Verbot oder mit einem Moratorium zu reagieren.

Problematischer ist der Umgang mit Risiken im Grenzbereich. Hier ist entweder mit relativ hohen Produktwerten bzw. hohen Ungewissheiten zu rechnen, oder eine der verschärfenden Bewertungsdimensionen ist eindeutig verletzt (Kap. C 3). Darunter fallen die Kriterien der *Irreversibilität* (Schäden sind nicht wieder behebbar), der *Persistenz* (Schadstoffe akkumulieren sich über lange Zeit), der *Ubiquität* (Schadstoffe breiten sich weltweit aus) und der *Mobilisierung* (Risiken führen zu starken Konflikten und ängstigen die Bevölkerung). Ein Sonderfall bezieht sich auf die Risiken, die hohe Schadensausmaße mit einer hohen Eintrittswahrscheinlichkeit verbinden. Normalerweise werden solche Risiken erst gar nicht zugelassen und ohne große Diskussion im Verbotsbereich angesiedelt. Liegt jedoch zwischen dem auslösenden Ereignis und dem Schadenseintritt eine hinreichend große Zeitspanne (Verzögerungswirkung), dann wird die Problematik eines solchen

Risikos den Entscheidungsträgern oft nicht bewußt bzw. leicht verdrängt. Solche Risiken sind eigentlich inakzeptabel, werden aber häufig politisch und sozial nicht als solche wahrgenommen.

Fallen also bei der Beantwortung der 2. Frage im Entscheidungsbaum Risiken in den Grenzbereich, so steht die Ampel der Risikopolitik auf gelb: Besondere Vorsicht ist angebracht. In diesem Fall sollte man zur nächsten Frage im Entscheidungsbaum übergehen und die Risiken bestimmten Risikotypen zuordnen, denn für jeden Risikotyp sind spezifische Strategien auszuwählen. Die Lokalisierung der vom Beirat entwickelten Risikotypen ist in Abb. A 2-3 wiedergegeben.

3 Aufteilung nach Risikotypen

Die Aufgabe des Entscheidungsträgers an diesem Knotenpunkt im Entscheidungsbaum besteht also darin, die im Grenzbereich befindlichen Risiken einzelnen Typen zuzuordnen. Wie sind diese Risikotypen definiert? Die charakteristischen Eigenschaften der 6 vom Beirat identifizierten Risikotypen sind in Kap. C ausführlich beschrieben und hier summarisch in Tab. A 3-1 wiedergegeben.

Damokles

Damokles, so der griechische Mythos, war von seinem König einst zu einem Bankett eingeladen worden. Er mußte jedoch sein Essen unter einem scharfgeschliffenen Schwert einnehmen, welches nur an einem hauchdünnen Faden hing. Chance und Risiko hingen für Damokles eng zusammen, und das „Damoklesschwert“ wurde sprichwörtlich für eine im Glück drohende Gefahr.

Dennoch schien der Faden recht stark zu sein, denn der Mythos berichtet nicht von einem Fadenriß mit seinen tödlichen Folgen. Die Bedrohung ging vielmehr von der Möglichkeit aus, daß zu jedem Zeitpunkt, wenn auch mit geringer Wahrscheinlichkeit, ein für Damokles tödliches Ereignis eintreten konnte. Dementsprechend bezieht sich dieser Risikotyp auf Risikoquellen, die mit einem sehr hohen Schadenspotential ausgestattet sind, bei denen aber die Wahrscheinlichkeit, daß sich dieses Potential als Schaden manifestiert, als denkbar gering eingestuft wird. Kernkraftwerke, großchemische Anlagen und Staudämme lassen sich hier als Beispiele nennen. Neben den großtechnischen Risiken fallen auch eine Reihe von Naturkatastrophen unter diesen Typ. Ähnlich wie bei den großtechnischen Risiken sind bei Naturkatastrophen mit bekannten Schadenswahrscheinlichkeits-Funktionen große Schadenspotentiale bei meist geringen Eintrittswahrscheinlichkeiten zu erwarten, wie etwa bei Meteoriteneinschlägen. Anders aber als bei den großtechnischen Risiken sind das politische Mobilisierungspotential und der Druck nach vorbeugendem Risikomanagement wenig ausgeprägt. Naturkatastrophen werden im gesellschaftlichen Kommunikationsprozeß eher abge-

schwächt, technologische Risiken dagegen verstärkt (Kasperson et al., 1988).

Zyklop

Die griechische Antike kannte starke Riesen, die trotz all ihrer Kraft damit gestraft waren, daß sie nur ein einziges, rundes Auge hatten, weshalb sie „Rundaugen“ oder Zyklopen genannt wurden. Mit nur einem Auge läßt sich lediglich eine Seite der Wirklichkeit erfassen: Beim Risikotyp Zyklop sind die Eintrittswahrscheinlichkeiten weitgehend ungewiß, während der maximale Schaden bestimmbar ist. Eine Reihe von Naturereignissen wie Überschwemmungen, Erdbeben und El Niño, aber auch das Auftreten von AIDS fallen in diese Kategorie, sofern über die Eintrittswahrscheinlichkeit keine oder nur widersprüchliche Informationen vorliegen.

Pythia

Die Griechen des Altertums befragten in Zweifelsfällen ihre Orakel, deren bekanntestes das Orakel von Delphi mit der blinden Seherin Pythia war. Die Antworten der Pythia blieben jedoch stets für die Ratsuchenden unklar: Es wurde in Pythias Weissagungen zwar deutlich, daß möglicherweise eine große Gefahr drohen könnte, nicht jedoch, wie groß deren Eintrittswahrscheinlichkeit, Schaden oder Verteilung sei. So weissagte die Pythia dem König Krösus, daß, wenn er Persien angriffe, er damit ein großes Reich zerstören würde. Der angriffslustige Krösus verkannte, daß sein eigenes Reich gemeint war. Beim Pythia-Typ besteht demnach hohe Ungewißheit in Bezug auf die möglichen Schadenswirkungen wie auch in Bezug auf die Eintrittswahrscheinlichkeit für bestimmbare Schäden. Zwar kann man das Potential für Schäden angeben, aber die Größenordnungen sind noch unbekannt. In diese Kategorie fallen Risiken, die mit der Möglichkeit plötzlicher nichtlinearer Klimaänderungen verbunden sind, etwa das Risiko eines sich aufschaukelnden Treibhauseffektes oder der Instabilität des westantarktischen Eisschildes, mit weit katastrophaleren Folgen als bei einer schleichenden Klimaänderung. Ebenso finden sich dort weitreichende technische Neuerungen wie einige be-

Tabelle A 3-1

Die Risikotypen im Überblick: Charakterisierung und Beispiele. *W* Eintrittswahrscheinlichkeit, *A* Schadensausmaß.
Quelle: WBGU

Risikotyp	Charakterisierung	Beispiele
Damokles	<i>W</i> gering (gegen 0) Abschätzungssicherheit von <i>W</i> hoch <i>A</i> hoch (gegen unendlich) Abschätzungssicherheit von <i>A</i> hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Kernenergie • Großchemische Anlagen • Staudämme • Meteoriteneinschläge
Zyklus	<i>W</i> ungewiß Abschätzungssicherheit von <i>W</i> ungewiß <i>A</i> hoch Abschätzungssicherheit von <i>A</i> eher hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Überschwemmungen • Erdbeben • Vulkaneruptionen • AIDS-Infektion • Massenentwicklungen anthropogen beeinflusster Arten • Frühwarnsysteme von Nuklear- und ABC-Waffensystemen • Zusammenbruch der thermohalinen Zirkulation
Pythia	<i>W</i> ungewiß Abschätzungssicherheit von <i>W</i> ungewiß <i>A</i> ungewiß (potentiell hoch) Abschätzungssicherheit von <i>A</i> ungewiß	<ul style="list-style-type: none"> • Sich aufschaukelnder Treibhauseffekt • Freisetzung und Inverkehrbringen transgener Pflanzen • BSE/nv-CJD-Infektion • Bestimmte Anwendungen der Gentechnologie • Instabilität der westantarktischen Eisschilde
Pandora	<i>W</i> ungewiß Abschätzungssicherheit von <i>W</i> ungewiß <i>A</i> ungewiß (nur Vermutungen) Abschätzungssicherheit von <i>A</i> ungewiß Persistenz hoch (mehrere Generationen)	<ul style="list-style-type: none"> • Persistente organische Schadstoffe (POP) • Endokrin wirksame Stoffe
Kassandra	<i>W</i> eher hoch Abschätzungssicherheit von <i>W</i> eher gering <i>A</i> eher hoch Abschätzungssicherheit von <i>A</i> eher hoch Verzögerungswirkung hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Anthropogener schleichender Klimawandel • Destabilisierung terrestrischer Ökosysteme
Medusa	<i>W</i> eher gering Abschätzungssicherheit von <i>W</i> eher gering <i>A</i> eher gering (Exposition hoch) Abschätzungssicherheit von <i>A</i> eher hoch Mobilisierungspotential hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Elektromagnetische Felder

stimmte Anwendungen der Gentechnik, bei denen weder das genaue Ausmaß der Risiken noch die Eintrittswahrscheinlichkeit für bestimmte Schadenserignisse zum jetzigen Zeitpunkt abschätzbar sind.

Pandora

Dieser Risikotyp bezieht sich auf Risiken mit persistenten, ubiquitären und irreversiblen Wirkungen. Typische Beispiele dafür sind persistente organische Schadstoffe (POP), die über lange Zeiten in der Umwelt stabil bleiben. Oft sind die Auswirkungen dieser Risiken noch unbekannt, oder es gibt bestenfalls einen begründeten Verdacht hinsichtlich ihrer schädlichen Wirkung. Der Beirat hat diese Risiken mit dem Begriff Pandora bezeichnet. Die Griechen erklärten viele Übel ihrer Zeit mit dem Mythos der Büchse der Pandora, eine Büchse, die von der von Zeus geschaffenen schönen Pandora auf die Erde gebracht wurde, aber nur Übel enthielt. Solange die Übel in der Büchse blieben, war keinerlei Schaden zu befürchten.

Wurde jedoch die Büchse geöffnet, wurden alle in ihr enthaltenen Übel freigesetzt, die dann irreversibel, persistent und ubiquitär die Erde heimsuchten.

Kassandra

Viele Schäden treten mit hoher Wahrscheinlichkeit ein, liegen aber gleichwohl in so weiter Zukunft, daß vorerst niemand eine Bedrohung erkennen will. Dies war das Problem der Kassandra, einer Seherin der Trojaner, die zwar die Gefahr eines Sieges der Griechen korrekt voraussagte, aber von ihren Landsleuten nicht ernst genommen wurde. Der Risikotyp Kassandra stellt somit ein Paradox dar: Sowohl Eintrittswahrscheinlichkeit als auch Schadenspotential sind bekannt, aber weil die Schäden erst nach langer Zeit auftreten werden, entsteht kaum Betroffenheit in der Gegenwart. Risiken vom Typ Kassandra sind nur dann von Interesse, wenn das Schadenspotential und die Eintrittswahrscheinlichkeit relativ hoch sind. Aus diesem Grund ist dieser Typ auch in der Verbots-

zone angeordnet. Wäre das Zeitintervall kleiner, würden die Aufsichtsbehörden aller Wahrscheinlichkeit nach regulativ eingreifen. Durch die hohe Zeitspanne zwischen Auslöser und Folge wird aber schnell der trügerische Eindruck von Sicherheit erzeugt. Ein Beispiel für einen solchen Effekt ist der schleichende anthropogene Klimawandel, der in vulnerablen Räumen wie Küsten- und Gebirgszonen schwere Schäden auslösen kann.

Medusa

Die Medusa war, so der antike Mythos, eine von 3 grausamen Gorgonenschwestern, deren bloßer Anblick einen Menschen bereits zu Stein werden ließ. Ähnlich wie die Gorgonen als nur imaginäre Sagenfiguren des Altertums Angst und Schrecken verbreiteten, so wirken auch manche neuartigen Phänomene auf den modernen Menschen. Manche Innovationen werden abgelehnt, selbst wenn sie wissenschaftlich kaum als Bedrohung einzustufen sind. Solche Phänomene haben, wie einst die Furcht vor den ja tatsächlich nicht existierenden Gorgonenschwestern, ein hohes Mobilisierungspotential in der Öffentlichkeit. Risiken von diesem Typ liegen nach bestem Wissen der Risikoexperten an der Grenze zum Normalbereich, sind aber aufgrund bestimmter Eigenschaften der Risikoquelle besonders angstaussendend und führen zu massiven Akzeptanzverweigerungen (Kriterium der Mobilisierung). Ein gutes Beispiel für eine solche Mobilisierung ist die Sorge um die krebserzeugende Wirkung von elektromagnetischer Strahlung in geringer Konzentration.

Resümee

Die Risiken, die sich in die Typen Damokles oder Zyklop einordnen lassen, sind stärker durch plötzliches Eintreten geprägt, während die Risiken in den Typenklassen Medusa, Cassandra und Pandora eher schleichende Gefahren umfassen, die auch im „Normalbetrieb“ auftreten. In die Risikoklasse der Pythia fallen sowohl Unfälle als auch Akkumulationseffekte durch kontinuierliche Emissionen.

Diese 6 Risikotypen verlangen nach spezifischen Strategien. Die dazugehörigen Instrumente (Kap. H 2.1) werden hier zusammenfassend vorgestellt und im Entscheidungsbaum (Abb. A 2-1) abgebildet. Daneben gibt der Beirat zentrale Empfehlungen für die klassischen Handlungsfelder der Risikopolitik (Kap. H 2.2). Das Ziel der Strategien für die Risikotypen ist es, diese aus dem Verbots- oder Grenzbereich in den Normalbereich zu überführen. Es geht also nicht um Reduzierung von Risiken bis zum Nullpunkt, sondern um eine Reduzierung in den Bereich hinein, der ein routinemäßiges Management erlaubt. Sowohl die Strategien als auch die Instrumente bzw. Maßnahmen sind nach Prioritäten geordnet. Natürlich sind im Normalfall mehr als eine Strategie und mehr als ein Instrument erforderlich. Wenn es aber um eine begrenzte Auswahl geht, sollten vorrangig die an oberster Stelle genannten Einträge berücksichtigt werden.

Strategien für den Risikotyp Damokles
Für Risiken vom Typ Damokles werden vom Beirat 3 zentrale Strategien empfohlen: zunächst durch Forschung und technische Maßnahmen das Katastrophenpotential reduzieren, dann als 2. die Resilienz, d. h. die Robustheit des Systems gegen Überraschungen stärken, und schließlich ein effektives Katastrophenmanagement sicherstellen (Tab. A 4-1).

Im Rahmen der 1. Strategie, das Schadenspotential zu senken und dem Schadenseintritt vorzubeugen, geht es um die Verbesserung technischer Maßnahmen zur Reduzierung des Katastrophenpotentials und um die Erforschung und Durchführung von Maßnahmen zur Verringerung der Schadensausbreitung. Beispielsweise war die bei der Kernenergie in der Vergangenheit vorrangig umgesetzte Strategie, die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Kernschmelze durch technische Maßnahmen weiter zu reduzieren, zu wenig zielführend, um dieses Risiko aus dem Grenzbereich in den Normalbereich zu überführen. Sinnvoller wäre dagegen eine konstruktive Veränderung in Richtung auf Reduzierung des Katastrophenpotentials gewesen (wie dies inzwischen ja auch geschieht). Ebenfalls empfiehlt der Beirat die Ein-

führung bzw. Stärkung von Haftungsregeln, die zur Verbesserung des Wissens und zur Reduzierung der Restrisiken anregen. Zugleich ist es notwendig, Alternativen für Technologien mit unvermeidbar hohem Katastrophenpotential zu erforschen und zu entwickeln, deren Schadenspotential wesentlich geringer ist. Dafür können unter bestimmten Umständen in der Einführungs- und Erprobungsphase Subventionen erforderlich sein.

Die 2. Strategie zielt darauf, die Resilienz gegenüber den Risikopotentialen zu erhöhen. Dafür müssen übergeordnete institutionelle und organisatorische Strukturen, die Einfluß auf Genehmigungsverfahren, Überwachung, Ausbildung usw. nehmen, gestärkt werden. Gleichzeitig können haftungsrechtliche Regelungen einen vorsichtigen Umgang mit diesen Risiken fördern. Daneben müssen technische Verfahren zur Erhöhung der Resilienz eingeführt oder verbessert werden. Das gelingt u. a. durch redundante Auslegung von Technik und sicherheitsrelevanten Organisationseinheiten, durch die Einbindung von Spielräumen, Puffern und Elastizität (fehlerfreundliche Systeme) und durch Diversifizierung, d. h. Streuung von Risikopotentialen bzw. -quellen. In Form von Technologie- und Wissenstransfers sollten die als resilient betrachteten Organisationsformen und bewährte Genehmigungsverfahren als Vorlage bzw. Vorbild für andere Staaten zur Verfügung gestellt werden. Außerdem sollten die internationale Kontrolle und Überwachung gestärkt sowie ein „internationaler TÜV“ eingeführt werden.

Die letzte Priorität bei den Handlungsstrategien nimmt das Katastrophenmanagement ein, wobei diese Strategie nicht als unbedeutend eingeschätzt wird, jedoch als nachsorgende Strategie zur Schadensbegrenzung hinter den risikoreduzierenden Startegien zurückbleiben sollte. Hier gilt es auch wieder, persönliche und institutionelle Kapazitäten weiter zu stärken, indem nationale Notfallschutzprogramme entwickelt und gefördert werden. Durch Technologie- und Wissenstransfers können die in vielen Industrieländern bewährten Notfallschutzmaßnahmen und -techniken in Form von Ausbildung, Bildung und Empowerment an die lokal wirkenden Risikoman-

Strategien	Instrumente
1. Katastrophenpotential reduzieren	<ul style="list-style-type: none"> • Forschung zur Entwicklung von Substituten und zur Verringerung des Katastrophenpotentials • Technische Maßnahmen zur Verringerung des Katastrophenpotentials • Stringente Haftungsregeln • Internationaler TÜV • Subvention von nutzengleichen Alternativen • Begrenzung (Reduzierung der Schadensausbreitung) • Internationale Koordination (etwa zur Abwendung der Gefahr durch Meteoriten)
2. Resilienz erhöhen	<ul style="list-style-type: none"> • Stärkung der persönlichen und institutionellen Kapazitäten (Genehmigung, Überwachung, Ausbildung usw.) • Internationale Haftungsverpflichtung • Ausbau technischer Verfahren der Resilienz (Redundanz, Diversifizierung usw.) • Blueprint für resiliente Organisationen • Vorbildfunktion: Genehmigungsverfahren • Internationale Kontrolle (IAEO)
3. Katastrophenmanagement sicherstellen	<ul style="list-style-type: none"> • Stärkung der persönlichen und institutionellen Kapazitäten (Notfallschutz) • Ausbildung, Bildung, Empowerment • Technische Schutzmaßnahmen, inklusive Containment-Strategien • Internationale Hilfsgruppen (z. B. Feuerwehr, Strahlenschutz usw.)

Tabelle A 4-1
Strategien und Instrumente für den Risikotyp Damokles. Das Hauptproblem bei diesem Risikotyp ist das hohe Katastrophenpotential. Quelle: WBGU

ger weitergegeben werden. Schließlich ist eine internationale vorbeugende Katastrophenhilfe, wie sie im Rahmen der von der UNO initiierten Internationalen Dekade für die Verringerung von Naturkatastrophen (International Decade for Natural Disaster Reduction, IDNDR) angestrebt wird, auch für anthropogen verursachte Katastrophen erforderlich.

Strategien für den Risikotyp Zyklon

Unter den Maßnahmen und Instrumenten für den Risikotyp Zyklon nimmt die Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit oberste Priorität ein, die dafür notwendige Forschung sollte gefördert werden (Tab. A 4-2). Zudem gilt es, ein internationales Monitoring durch nationale und internationale Risikozentren zu gewährleisten. Dabei setzt der Beirat v. a. auf die Einrichtung eines UN Risk Assessment Panels, dessen Aufgabe darin besteht, die nationalen Risikozentren miteinander zu vernetzen und Erkenntnisse über globale Risiken zu sammeln und auszuwerten. Aufgaben, Struktur und Funktionen dieses Panels sind ausführlich in Kap. F 6.3 und H 2.2 beschrieben.

Die 2. Handlungsstrategie soll unerwünschten Überraschungen vorbeugen und die Gesellschaft dagegen absichern. Dies kann etwa durch Gefährdungshaftung geschehen. Unter bestimmten Voraussetzungen sollte eine Versicherungspflicht (oder eventuell ein Fondsmodell) geprüft werden. Die Gefährdungshaftung kann ggf. durch eine Versicherungspflicht für Risikoerzeuger ergänzt werden. Die

hier ebenfalls geeigneten Instrumente der Stärkung der persönlichen und institutionellen Kapazitäten und der technischen Maßnahmen entsprechen weitgehend den Instrumenten beim Risikotyp Damokles.

Beim Katastrophenmanagement (3. Strategie) kommen die gleichen Instrumente wie beim Typ Damokles zum Einsatz.

Strategien für den Risikotyp Pythia

Beim Risikotyp Pythia, bei dem eine besonders hohe Ungewißheit bei beiden Risikokomponenten Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß vorliegt, gilt ebenfalls die Maxime, das Wissen zu verbessern, v. a. im Bereich der Grundlagenforschung (Tab. A 4-3). Gleichzeitig sollten aber hier noch stärker als beim Typ Zyklon vorsorgeorientierte Strategien zum Zug kommen, da das Haftungsprinzip möglicherweise nur bedingt durchgesetzt werden und die Schadenshöhe globale Ausmaße annehmen kann. Ordnungsrechtliche Begrenzungen und Containment-Maßnahmen sind in diesem Bereich in aller Regel unumgänglich.

Im Rahmen der Vorsorge empfiehlt der Beirat, eine Strategie einzuschlagen, die Instrumente wie das ALARA-Prinzip (As Low As Reasonably Achievable) oder den „Stand der Wissenschaft und Technik“ einsetzt, bei denen die Kosten unterlassener Risikominderungspolitik inklusive der Kosten der Risikominderungspolitik selbst so gering wie möglich zu halten sind. Wesentliches Instrument der Vorsorge ist

Tabelle A 4-2
Strategien und Instrumente für den Risikotyp Zyklus. Das Hauptproblem bei diesem Risikotyp ist die Ungewißheit bei der Eintrittswahrscheinlichkeit. Quelle: WBGU

Strategien	Instrumente
1. Eintrittswahrscheinlichkeit <i>W</i> ermitteln	<ul style="list-style-type: none"> • Forschung zur Ermittlung von <i>W</i> • Internationales Monitoring durch <ul style="list-style-type: none"> – Nationale Risikozentren – Institutionelle Vernetzung – Internationales „Risk Assessment Panel“ • Technische Maßnahmen zur Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeiten
2. Gegen Überraschungen vorbeugen	<ul style="list-style-type: none"> • Gefährdungshaftung • Versicherungspflicht für Risikoerzeuger (z. B. Überschwemmungen, Siedlungen) • Stärkung der Kapazitäten (Genehmigung, Überwachung, Ausbildung usw.) • Technische Maßnahmen • Internationale Überwachung
3. Katastrophenmanagement sicherstellen bzw. Schadensausmaß reduzieren	<ul style="list-style-type: none"> • Stärkung der persönlichen und institutionellen Kapazitäten (Notfallschutz) • Reduzierung des Schadensausmaßes • Ausbildung, Bildung, Empowerment • Technische Schutzmaßnahmen, inklusive Begrenzungsstrategien • Internationale Hilfsgruppen (z. B. Feuerwehr, Strahlenschutz usw.)

auch die Begrenzung des Wirkungsfeldes, in dem das Risiko zugelassen ist. Auf diese Weise läßt sich das Ausmaß einer nicht vorhersehbaren Katastrophe sinnvoll begrenzen. Haftungsrechtliche Regelungen sind zwar auch hier grundsätzlich zu empfehlen, möglicherweise aber nicht immer durchsetzbar. Deshalb ist hier auch an die Anwendung von Fondslö-

sungen zu denken. Bei globalen Risiken vom Typ Pythia sind internationale Institutionen zur Kontrolle und zum Monitoring sowie hinsichtlich der Sicherheitsvorkehrungen erforderlich. Die Instrumente zur Reduzierung der Schadensausbreitung, zur Stärkung der persönlichen und institutionellen Kapazitäten und zur Erhöhung der Resilienz sind in den beiden

Tabelle A 4-3
Strategien und Instrumente für den Risikotyp Pythia. Das Hauptproblem bei diesem Risikotyp ist die geringe Abschätzungssicherheit gepaart mit plausiblen Szenarien für hohe Schadenspotentiale. Quelle: WBGU

Strategien	Instrumente
1. Vorsorge verbessern und Auswirkungen begrenzen	<ul style="list-style-type: none"> • Institutionelle Vorsorgeregelungen wie ALARA, BACT, Stand der Technik usw. • Fondslösung • Begrenzung (Reduzierung der Schadensausbreitung) • Internationale Konventionen zu Überwachung, Monitoring und Sicherheitsvorkehrungen • Stärkung der persönlichen und institutionellen Kapazitäten (Genehmigung, Überwachung, Ausbildung usw.) • Technische Verfahren der Resilienz (Redundanz, Diversifizierung usw.)
2. Wissen verbessern	<ul style="list-style-type: none"> • Forschung zur Ermittlung von <i>W</i> und <i>A</i> • Internationales Frühwarnsystem durch: <ul style="list-style-type: none"> – Nationale Risikozentren – Institutionelle Vernetzung – Internationales „Risk Assessment Panel“ • Staatliche Forschungsförderung (Grundlagen)
3. Effektives Schadensmanagement sicherstellen	<ul style="list-style-type: none"> • Begrenzungsstrategien für Katastrophenausbreitung • Stärkung der persönlichen und institutionellen Kapazitäten (Notfallschutz) • Ausbildung, Bildung, Empowerment • Technische Schutzmaßnahmen • Internationale Eingreiftruppen (z. B. für Dekontaminierung)

Strategien	Instrumente
1. Ersatzstoffe bereitstellen	<ul style="list-style-type: none"> • Forschung zur Entwicklung von Substituten • Technische Maßnahmen zur Verbreitung und Durchsetzung von Ersatzstoffen • Förderung von Grundlagenforschung • Subvention von nutzengleichen Alternativen
2. Mengen- und Ausbreitungsbegrenzungen durchsetzen, bis hin zu Verboten	<ul style="list-style-type: none"> • Ordnungsrechtliche Mengenbegrenzung durch <ul style="list-style-type: none"> – Umweltstandards oder – Einsatz von Anreizsystemen (Zertifikate) • Gefährdungshaftung wenn sinnvoll • Technische Verfahren der Rückhaltung verbessern und ausbauen • Ordnungsrechtliche Grenzwerte und Verbote • Stärkung der Kapazitäten (Technisches Wissen, Technologietransfer, Ausbildung) • Joint Implementation
3. Schadensmanagement sicherstellen	<ul style="list-style-type: none"> • Stärkung der persönlichen und institutionellen Kapazitäten (Notfallschutz) • Technische Schutzmaßnahmen, inklusive Begrenzungsstrategien • Ausbildung, Bildung, Empowerment

Tabelle A 4-4

Strategien und Instrumente für den Risikotyp Pandora. Das Hauptproblem bei diesem Risikotyp ist die Ungewißheit sowohl bei der Eintrittswahrscheinlichkeit als auch beim Schadensausmaß sowie die hohe Persistenz und Ubiquität.
Quelle: WBGU

anderen Risikotypen bereits zur Sprache gekommen.

Zweite Priorität kommt der Verbesserung des Wissens zu, so daß künftige Risikoanalysen eine höhere Abschätzungssicherheit liefern können. Dazu bedarf es der Forschung zur Ermittlung von Eintrittswahrscheinlichkeiten und möglicher Schadensausmaße. Außerdem ist auch hier ein internationales Frühwarnsystem nötig, ähnlich wie beim Typ Zyklon.

Das Schadensmanagement kommt den Instrumenten der vorherigen Risikotypen sehr nahe. Schwerpunkt ist hier aber die Begrenzung des Schadensausmaßes durch lokale Begrenzungen des Einsatzes risikoerzeugender Aktivitäten.

Strategien für den Risikotyp Pandora

Risiken des Typs Pandora zeichnen sich durch Ungewißheit bei der Eintrittswahrscheinlichkeit und beim Schadensausmaß (nur Vermutungen) sowie durch hohe Persistenz und Ubiquität aus (Tab. A 4-4). Da die negativen Auswirkungen dieser Risikoquellen noch unbekannt sind, im ungünstigsten Fall aber globale Ausmaße mit irreversiblen Folgen annehmen können, sind hier Forschungsanstrengungen zur Entwicklung von Ersatzstoffen und ordnungsrechtliche Maßnahmen zur Eindämmung oder Reduzierung dieser Risikoquellen dringend geboten. Dies muß auch im internationalen Rahmen umgesetzt werden.

Beim Risikotyp Pandora hat die Bereitstellung von Ersatzstoffen oder -verfahren Vorrang vor allen weiteren Strategien. Was die Erforschung und Entwicklung von Substituten angeht, gilt im Prinzip dasselbe wie beim Typ Damokles. Darüber hinaus erfordert dieser Typ eine weitreichende Grundlagenforschung, die angemessen gefördert werden sollte.

In einem 2. Schritt sollten die Risikopotentiale dadurch verringert werden, daß bestimmte Risikoquellen reduziert, örtlich begrenzt oder gar gänzlich verboten werden. Hierzu eignen sich sowohl ein ordnungsrechtliches Vorgehen, z. B. über Mengenbegrenzungen durch Umweltstandards, als auch ein ökonomisches Anreizsystem mit Hilfe von Zertifikaten. In manchen Fällen ist auch die Anwendung der Gefährdungshaftung angebracht. Wie auch bei den vorangegangenen Typen gelten die Instrumente der technischen Verfahren zur Risikobegrenzung und der Stärkung der persönlichen und institutionellen Kapazitäten.

Strategien für den Risikotyp Cassandra

Bei den Risiken vom Typ Cassandra besteht kaum noch Unsicherheit, die Menschen verdrängen aber diese Risiken wegen ihrer schleichenden Form bzw. der verzögerten Wirkung zwischen auslösendem Ereignis und Schaden (Tab. A 4-5). Häufig fehlt auch wegen der Kurzzeitlegitimation der Politik durch kurze Wahlperioden die Motivation, sich solch langfristiger Bedrohungen anzunehmen. Hier ist der Beirat der Meinung, daß durch Maßnahmen der kollektiven Selbstverpflichtung (etwa Verhaltenskodex der multinationalen Unternehmen) durch langfristig angelegte globale Institutionen (UN Risk Assessment Panel) sowie durch internationale Konventionen die Langfristverantwortung weltweit gestärkt werden muß. Zur Reduzierung dieser Risiken sind dann auch Stoffmengenbegrenzungen geeignet.

Wenn eine erhebliche zeitliche Verzögerung zwischen dem auslösenden Ereignis und der Schadenswirkung vorliegt, gilt es, durch geeignete Instrumente eine langfristige Verantwortung gegenüber zu-

Tabelle A 4-5
 Strategien und Instrumente für den Risikotyp *Kassandra*. Das Hauptproblem bei diesem Risikotyp ist die verzögerte Wirkung zwischen auslösendem Ereignis und Schaden (hohe Latenzzeit oder schleichende Risiken).
 Quelle: WBGU

Strategien	Instrumente
1. Langfrist-Verantwortung stärken	<ul style="list-style-type: none"> • Selbstverpflichtung, code of conduct der globalen Akteure • Kopplung von Partizipation, Empowerment und institutionelle Absicherung von Langfriststrategien • Gegenmaßnahmen zu Staatsversagen • Fondslösung • Internationale Koordination
2. Durch Substitute und Mengenbegrenzungen stetig reduzieren, bis hin zum Verbot	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatz von Anreizsystemen (Zertifikate und Abgaben) • Gefährdungshaftung, wenn sinnvoll • Mengenbegrenzung durch Umweltstandards (auch international) • Technische Verfahren der Rückhaltung verbessern und ausbauen • Stärkung der persönlichen und institutionellen Kapazitäten (Technisches Know-how, Technologietransfer, Ausbildung) • Joint Implementation
3. Schadensmanagement sicherstellen	<ul style="list-style-type: none"> • Stärkung der persönlichen und institutionellen Kapazitäten (Rekultivierung, Notfallschutz) • Technische Schutzmaßnahmen, inklusive Containment-Strategien • Ausbildung, Bildung, Empowerment

künftigen Generationen zu stärken. Dabei setzt der Beirat vorrangig auf die Selbstverpflichtung von Staaten und wichtigen Akteuren (etwa multinationale Unternehmen oder Rückversicherer). Eventuell greifen auch hier Fondslösungen. Auf der eher individuellen Ebene können potentiell Betroffene durch die Verknüpfung von Partizipation und Empowerment mehr Handlungskapazitäten erlangen, und damit zu einer langfristigen Verantwortung gegenüber ihrer eigenen Lebenswelt angeregt werden.

Die nächste Priorität gilt der stetigen Reduzierung der Risikopotentiale, indem über Ersatzstoffe und -verfahren Alternativen entwickelt werden und nicht ersetzbaren Risikopotentialen durch Mengenbegrenzung oder zumindest einer Begrenzung des Anwendungsraumes Einhalt geboten wird. Die dafür erforderlichen Instrumente sind bei den anderen Risikotypen bereits behandelt worden.

Strategien für den Risikotyp *Medusa*

Der Risikotyp *Medusa* verlangt nach Maßnahmen der Vertrauensbildung und der Verbesserung des Wissens zur Reduzierung der verbleibenden Unsicherheiten (Tab. A 4-6). Aufklärung allein reicht hier nicht aus, vielmehr müssen die betroffenen Menschen selbst an der Gestaltung ihrer Lebenswelten mitwirken und die Unsicherheiten und Widersprüchlichkeiten, die mit diesen Risiken verbunden bleiben, konstruktiv in eigene Entscheidungen einbinden.

Bei diesem Risikotyp sind das Schadensausmaß und die Eintrittswahrscheinlichkeit gering, dagegen ist das Mobilisierungspotential besonders hoch. Um

die Öffentlichkeit über das tatsächliche Schadensausmaß und die Eintrittswahrscheinlichkeit aufklären zu können, muß zuallererst Vertrauen gebildet werden. Dazu können unabhängige Institutionen beitragen, die offen über die Ergebnisse der wissenschaftlichen Forschung, aber auch über den rein hypothetischen Charakter vieler Befürchtungen informieren. Die Betroffenen sollten außerdem die Chance erhalten, sich aktiv an der Gestaltung ihrer Lebenswelt zu beteiligen. Auf diese Weise sind sie mit Entscheidungen konfrontiert, bei denen es häufig um eine Auswahl zwischen riskanten Optionen geht. Bei der Abwägung von Risiken müssen sie dabei selbst entscheiden, inwieweit sie den oft wenig begründeten Ängsten in der Öffentlichkeit mehr Gewicht beimessen als etwa den nachgewiesenen Schadenspotentialen alternativer Handlungsoptionen. Auch in Genehmigungsverfahren sollen die Betroffenen mitwirken können, um so selbst die Zielkonflikte abzuwägen und aus der Vielzahl der Optionen die am ehesten vertretbare auszuwählen. Um das Problem von Risiken des Typs *Medusa* gesellschaftlich bewältigen zu können, ist die Förderung sozialwissenschaftlicher Forschung zum Mobilisierungspotential und zur sozialen Bewältigung von Risikokonflikten notwendig.

Auch bei diesem Typ sollte das Wissen über die angeblichen Risikopotentiale verbessert werden. Es bedarf der Forschung zur Verbesserung der Abschätzungssicherheit und allgemeiner Grundlagen. Daneben sind Maßnahmen zu einer effektiven und glaubwürdigen Risikokommunikation einzuleiten.

Strategien	Instrumente
1. Vertrauen bilden	<ul style="list-style-type: none"> • Aufbau unabhängiger Institutionen zur Information und Aufklärung • Erhöhung der Partizipationschancen über die eigene Lebenswelt mit Verpflichtung zur Prioritätensetzung • Förderung sozialwissenschaftlicher Forschung zum Mobilisierungspotential • Vorbildfunktion: Genehmigungsverfahren mit Mitwirkungsrechten der Betroffenen • Internationale Kontrolle (IAEO) • Internationale Haftungsverpflichtung
2. Wissen verbessern	<ul style="list-style-type: none"> • Forschung zur Verbesserung der Abschätzungssicherheit • Staatliche Forschungsförderung (Grundlagen)
3. Risikokommunikation betreiben	<ul style="list-style-type: none"> • Anschauliche Darstellung der Wirkungszusammenhänge zwischen Auslöser und Konsequenzen • Verstärkte Umweltbildung in Schulen und Stätten der Erwachsenenbildung • Direkte Rückkopplung von Meßdaten an die Öffentlichkeit

Tabelle A 4-6
Strategien und Instrumente für den Risikotyp Medusa. Das Hauptproblem bei diesem Risikotyp ist das hohe Mobilisierungspotential, Schadensausmaß und Wahrscheinlichkeit sind eher gering.
Quelle: WBGU

4.1

Dynamische Betrachtungsweise

Ziel aller Maßnahmen zur typenspezifischen Risikoreduktion ist die Überführung von Risiken aus dem Grenzbereich in den Normalbereich. Mit diesem Anspruch verbindet der Beirat die grundsätzliche Einsicht, daß es in der Risikopolitik nicht um eine Reduzierung der Risiken auf Null geht, sondern um eine Verlagerung der Risiken auf solche Größenordnungen, bei denen die gängigen Methoden der Risiko-Nutzen-Abwägung durch Marktteilnehmer und staatliche Regulatoren zum Einsatz kommen können. Des weiteren betont der Beirat, daß globale Risiken, die sich im Normalbereich befinden, nicht notwendigerweise internationale Anstrengungen zu ihrem Management erfordern. Die Industrieländer können aber Hilfestellung beim Aufbau von effektiv arbeitenden Regulationsbehörden, funktionierenden Versicherungsmärkten und effektiven Notfallschutzmaßnahmen geben. Wird aber ein globales Risiko durch den in Kap. A 2 beschriebenen Entscheidungsbaum als einer der auf dem Grenzbereich lokalisierten Risikotypen identifiziert, sind international wirksame Maßnahmen notwendig, um das Risiko aus dem Grenz- in den Normalbereich zu überführen.

Diese Überführung wird im Regelfall in mehreren Schritten erfolgen müssen. Selbst wenn einzelne Maßnahmen erfolgreich sind, kann sich das Risiko von einem Typ zu einem anderen Typ bewegen, ohne direkt in den Normalbereich einzutauchen. Diese Bewegung von einem Typ zum anderen ist in Abb. A 4.1-1 wiedergegeben.

Dabei gibt es in der Regel 2 Typen von Maßnahmen: zum einen die Maßnahmen, die das Wissen verbessern (durch Forschung und Haftung), zum anderen die regulativen Maßnahmen, die auf die jeweils typenspezifischen kritischen Größen (Wahrscheinlichkeit, Schadensausmaß, Irreversibilität, Persistenz, Verzögerungswirkung und Mobilisierung) einwirken. Wie aus Abb. A 4.1-1 ersichtlich, führt eine Wissensverbesserung in der Regel zu einer Bewegung von einem Risikotyp zum anderen (etwa von Pandora zu Pythia, von Pythia zu Zyklop und von dort zu Damokles oder Medusa). Eine Maßnahme, die an der jeweiligen kritischen Größe ansetzt, kann ebenfalls eine Kaskadenbewegung in Gang setzen oder aber direkt eine Überführung in den Normalbereich bewirken.

Die Bewegung von einem Risikotyp zum anderen kann an einem fiktiven Beispiel erläutert werden. Man stelle sich einen Stoff vor, der global eingesetzt wird und bei dem eine hohe Persistenz vorliegt und irreversible Folgen begründet vermutet werden. Dieses Risiko fällt in die Kategorie Pandora. Sie ist im oberen Drittel des Grenzbereiches angesiedelt, wobei die Unsicherheitsbalken (Konfidenzintervalle) bis in die inakzeptable Zone reichen. Trifft man auf ein Risiko diesen Typs, dann lassen sich primär 2 Strategien einsetzen: Wissensvermehrung und Begrenzung des Risikopotentials. Zunächst zur Wissensvermehrung: Das Wissen um das Risiko kann weiter quantifiziert werden, wobei sich möglicherweise der Verdacht auf irreversible Folgen oder hohe Persistenz erhärtet. In diesem Fall sind eine Substitution des Stoffs oder sogar ein Verbot dringend angeordnet. Dann wird das Risiko eindeutig in den Verbotsbereich überführt. Ein Sonderfall liegt vor, wenn

(Überführung in den Verbotsbereich). Läßt sich durch technische oder andere Maßnahmen das Ausmaß der Schäden auf ein „normales“ Niveau reduzieren, steht einer Überführung in den Normalbereich nichts mehr entgegen.

Bleibt das Katastrophenpotential aber trotz Reduzierungsmaßnahmen sehr hoch, landet das Risiko beim Typ Damokles. Auch hier kann einerseits durch Verbesserung des Wissens, andererseits durch Reduzierung des Katastrophenpotentials eine Überführung in den Normalbereich erfolgen. Versagen alle Mittel der Reduzierung, ist eine Grundsatzentscheidung zu treffen, ob man den Nutzen dieses Risikos als so hoch ansieht, daß man das hohe Schadenspotential in Kauf nimmt, da ja die Eintrittswahrscheinlichkeiten für einen Katastropheneintritt gering sind. Andernfalls wandert das Risiko in den Verbotsbereich.

Die gewünschte Überführung in den Normalbereich kann bei allen Typen über den Riskotyp Medusa erfolgen. So könnte die Öffentlichkeit etwa bei dem beschriebenen Beispiel wenig Vertrauen in die angebliche Reduzierung des Schadenspotentials haben. Man braucht nur an die Probleme mit den Castor-Transporten zu denken. Selbst wenn das gesundheitliche Risiko der Strahlung von Ausmaß und Wahrscheinlichkeit als gering einzustufen ist, was bei den punktuellen Überschreitungen der Strahlendosen gerechtfertigt erscheint, so ist doch der Verlust in Bezug auf Glaubwürdigkeit und Zuverlässigkeit groß genug, um einen hohen politischen und psychologischen Mobilisierungseffekt hervorzurufen. Aus leidvoller Erfahrung mit öffentlichen Risikodebatten und ihren politischen Folgewirkungen mögen sich viele Risikoregulatoren lieber für ein Verbot einsetzen, selbst wenn die Schadenshöhe und die Eintrittswahrscheinlichkeit ein Normalrisiko signalisieren. In diesem Fall sind vertrauensbildende Maßnahmen und weitere Verbesserungen des Wissensstandes notwendig, um die Bevölkerung von der „Normalität“ des Risikos zu überzeugen und gleichzeitig die Anlagebetreiber auf die gesetzlich vorgeschriebene Handhabung des Risikos zu verpflichten. Darüber hinaus ist immer kritisch zu prüfen, ob die eingeleiteten Maßnahmen auch wirklich die gewünschte Begrenzung des Risikos herbeigeführt haben.

Hat man alle diese Stationen durchlaufen, dann wird man schließlich den Normalbereich erreichen. Der Beirat ist sich der Tatsache bewußt, daß diese Kaskadenwanderung eine intensive Beschäftigung mit den jeweils zur Bewertung anstehenden Risiken und eine kontinuierliche Erfassung und wissenschaftliche Begleitung der Risikoreduktionsmaßnahmen voraussetzt. Dies erfordert Zeit, institutionelle Vorkehrungen und Ressourcen. Der Beirat ist aber

der Meinung, daß sich die Investitionen in ein globales Risikomanagement angesichts der Tragweite der globalen Bedrohungen lohnen. Der hier vorgelegte Analyserahmen von Risikotypen und die damit verbundene Maßnahmendynamik bilden ein logisch konsistentes und politisch praktikables Konzept, das der Bundesregierung und der Staatengemeinschaft helfen soll, das Augenmerk auf die Risiken zu legen, die sich zu globalen Bedrohungen ausdehnen können, während die Risiken aus dem Normalbereich im Rahmen nationaler Regulationsstrukturen gut aufgehoben sind. Die Konzentration auf das Wesentliche bildet des weiteren eine wichtige Botschaft an die Öffentlichkeit, die bei der allgemeinen Verwirrung über das Schadenspotential von Risiken Orientierung und Handlungssicherheit von Politik und Wissenschaft erwartet. Gleichzeitig können die Einteilung nach Risikotypen und die Anwendung der typenspezifischen Maßnahmen eine effektive und zielgerechte Behandlung von Risiken erleichtern und Risikomanagern aus Wirtschaft und Politik Anleitungen zum rationalen Umgang mit Risiken vermitteln.

5.1

Ausbau der Gefährdungshaftung

Es gibt eine Reihe weltweiter Trends, die die Zukunftsfähigkeit der Gesellschaft gefährden können (z. B. Zunahme der Weltbevölkerung, wirtschaftliche Entwicklung, sozioökonomische Vernetzung der Nationen und Volkswirtschaften). Hierauf kann in 2facher Weise reagiert werden. Zum einen kann versucht werden, durch Expertenvorgaben, Technikfolgenabschätzungen und Konsensrunden einen Entwicklungspfad zu definieren, der sich als nachhaltig oder zukunftsfähig erweist. Auf globaler Ebene ist ein solcher Ansatz angesichts der Präferenzen- und Interessenvielfalt, der divergierenden Risikofreudigkeit der einzelnen Gesellschaften sowie der Wissensdefizite nur begrenzt möglich. Es gibt zwar globale Umweltrisiken, bei denen sich ein globaler Konsens darüber abzuzeichnen beginnt, welche Entwicklungen als unerwünscht und nicht zukunftsfähig gelten. So lassen sich etwa für die Klimarisiken (variable) „Leitplanken“ oder „Entwicklungskorridore“ angeben, die nicht über- oder unterschritten bzw. verlassen werden sollen (WBGU, 1995, 1997; Klemmer et al., 1998b).

Dieser Ansatz hat aber seine Grenzen, denn das begrenzte Wissen über die Folgen heutigen Handelns für die Zukunft und die damit verbundenen Bewertungsprobleme sowie die begrenzte Steuerungsfähigkeit komplexer ökonomischer und sozialer Systeme erschweren eine stringente Ableitung der „Leitplanken“ sowie eine gezielte Systemlenkung. Zukunftsfähigkeit ist daher weniger ein definierbares Ziel als vielmehr ein Auftrag an die heute lebenden Menschen, Regelwerke zu entwickeln, die die Wissensproduktion in eine Richtung lenken, die von langfristigem Denken getragen wird und durch rechtzeitiges Aufdecken der negativen Implikationen heutiger Aktivitäten schnelle gesellschaftliche Anpassungsreaktionen im Sinn einer Risikominderung auszulösen vermögen (Klemmer et al., 1998a). Zukunftsfähige Gesellschaften müssen somit ständig innovierende

und lernende Systeme mit Anreizarrangements zur Risikominderung sein.

Der Beirat mißt daher nicht nur der Schaffung von neuem Wissen große Bedeutung bei, sondern auch der Mobilisierung des Potentials an Problemlösungskompetenz, das dezentral in der Gesellschaft vorhanden, aber keiner zentralen Instanz bekannt ist. Dabei geht es v. a. auch darum, bislang unbekannte Risiken aufzudecken und die Innovation neuer, weniger riskanter technischer Entwicklungslinien zu fördern. Weil eine Risikofolgenabschätzung nicht oder nur bedingt möglich ist, sollten die Wissensproduktion und -mobilisierung über geeignete Anreizsysteme angeregt werden. Neben der Förderung der Grundlagenforschung verlangt dies die Gewährung von Handlungsspielräumen und damit auch die Zuweisung von klar definierten Eigentums- und Nutzungsrechten (Kerber, 1998). Dies eröffnet die Chance für vielfältige, am Markt unter Wettbewerbsbedingungen stattfindende Suchprozesse, die Fehler rechtzeitig aufzudecken und Irrtümer zu vermeiden vermögen. Ein wichtiges Element ist hierbei die Durchsetzung des Haftungsprinzips, das aufgrund seiner Präventivwirkung die Entstehung von Schäden verhindern soll. Wie der Beirat mehrfach betonte, steht dabei v. a. die Prävention im Vordergrund. Diese vorbeugende Wirkung wird erleichtert, wenn die jeweiligen Risiken versicherbar sind. Dann werden die Versicherungsgesellschaften Expertenstäbe zur Beurteilung dieser Risiken einrichten und zu einem an den vermuteten Risiken ausgerichteten Prämiensystem kommen. Dies wiederum trägt zur Beschleunigung der risikomindernden Wissensproduktion bei, denn Versicherungsnehmer und -geber werden aus Eigeninteresse Risikoforschung betreiben, um Fehleinschätzungen zu vermeiden und um eine Schadensbegrenzung und eine Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeiten zu erreichen.

Bei Risiken, die sich als nicht versicherbar erweisen, könnte dies durchaus bewirken, daß die risikoverursachende Handlung ganz unterbleibt. Wenn dies nicht im Sinn des Staats ist, muß eine Haftungsbegrenzung erfolgen.

5.2

Vorsorgliche Wissenserzeugung

Grundlage für die Beherrschung von globalen Umwelttrisiken ist das Wissen über Ursachen, Mechanismen und Schadenswirkungen unerwünschter möglicher Ereignisse. Dabei darf nicht vergessen werden, daß die Produktion neuen Wissens, zumeist über den Prozeß der technischen Innovation, selbst wieder Risiken bisher unbekanntem Charakters hervorbringen kann. Gerade in einer hochdynamischen Gesellschaft muß die Politik dafür Sorge tragen, daß die „Ignoranzquote“ – also das Verhältnis zwischen Risikogesamtheit und einschlägigem Vermeidungs- bzw. Bewältigungswissen – sich zumindest nicht verschlechtert.

Es versteht sich von selbst, daß die Ignoranzquote durch problemorientierte Risikoforschung, welche sich mit bekannten oder doch wenigstens erahnbaren Gefahren auseinandersetzt, günstig gestaltet werden kann. Entsprechend gilt es, den hohen Standard, den die deutsche Forschung in diesem Bereich (von der Technikfolgenabschätzung bis hin zur globalen Umweltsystemanalyse) inzwischen erreicht hat, zu halten oder sogar noch anzuheben. Dies kann nicht zum Nulltarif erfolgen, doch die dafür erforderlichen Aufwendungen sind politisch hinreichend begründbar.

Wesentlich problematischer ist die Situation, wenn es um das Management noch unbekannter bzw. nicht systematisch identifizierbarer Risiken geht, welche möglicherweise weit in der Zukunft liegen: Hier ist eine klar definierte, zielorientierte Wissensproduktion mit kurzfristigem Sicherheitsertrag nicht möglich – der Beirat hat auf diese Besonderheit schon mehrfach ausführlich hingewiesen.

Der Schlüssel zum proaktiven Risikomanagement ist nicht das ad hoc erzeugte, sondern das auf Vorrat produzierte Wissen, wie es nur eine breit gefächerte „wert- und zweckfreie“ Grundlagenforschung hervorbringen kann. Nur ein sich laufend erneuernder und erweiternder Erkenntnisvorrat ohne direkten Verwertungsbezug wird es möglich machen, komplexe Risikokonstellationen zufällig, beiläufig oder spielerisch zu entdecken und in ähnlicher Weise Bewältigungsstrategien zu finden. Der Beirat spricht sich deshalb für eine ungeschälerte *Sockelförderung der Umweltwissenschaften* im weitesten Sinn aus, wobei das langfristige Ziel ein deutlich verbessertes Verständnis der Zusammenhänge im System Erde sein muß. Die entsprechende Forschung wird reale Risiken aufzeigen, die gegenwärtig nicht einmal ansatzweise erkennbar sind, die sich aber voraussichtlich mit geeigneten Maßnahmen beherrschen lassen werden.

In diesem Zusammenhang weist der Beirat darauf hin, daß Forschung von Vielfalt und Konkurrenz lebt: Es wäre eine gefährliche Illusion anzunehmen, daß Grundlagenforschung durch Vermeidung von Doppel- und Mehrfacharbeiten „verschlankt“ werden könnte – etwa in dem Sinn, daß *ein* Institut weltweit *ein* bestimmtes Kompartiment der Ökosphäre exklusiv zu bearbeiten hätte. Wenn überhaupt, dann ist ein Spektrum von Meinungen, Ansätzen und Methoden nötig, um den Raum der möglichen Risikokonstellationen hinreichend dicht abzutasten. Diese Aussage trifft insbesondere auf die Simulationsmodelle für Klima, Ozeanzirkulation, Vegetationsdynamik usw. zu, wo gerade eine breite Streuung von Design und Realisierung die zufällige Erfassung der kritischen – d. h. der *nicht* offensichtlichen – Gefahrenaspekte ermöglichen wird. Wissen ist Risikokapital, und dieses Kapital verlangt nach Diversifikation!

5.3

Internationaler Mechanismus zur Risikofeststellung und -bewertung

Wissen bildet also den Schlüssel zum Risikomanagement, aber dieser Schlüssel muß auch genutzt werden. Diese Nutzung erfolgt weltweit bisher in völlig unzureichendem Maß, wofür eine Reihe von Faktoren verantwortlich ist: mangelnde Integration von partikulärem Wissen, asymmetrischer Zugang zu Wissen, ineffektive Strukturen des Wissenstransfers usw. Dabei geht es an dieser Stelle noch gar nicht um die Umsetzung von Einsichten in konkrete Maßnahmen der Risikobewältigung, sondern um eine Vorstufe, wo Wissen Handlungsbedarf anzeigt. Gerade mit Blick auf globale Umweltgefahren kann von einer entsprechenden Aufarbeitung der verfügbaren Einsichten noch keine Rede sein. Handlungsrelevantes Risikowissen müßte hier globale Gefährdungspotentiale geografisch explizit sichtbar machen. Was etwa die Perspektiven der Welternährungssicherheit angeht, gibt es derzeit eine Reihe wenig tragfähiger Spekulationen, die das heute schon verfügbare Wissen (z. B. über die Auswirkungen zu erwartender Klimaänderungen oder fortschreitender Bodendegradationsprozesse) noch nicht annäherungsweise ausschöpfen.

Der Beirat empfiehlt deshalb, ein „(UN) Risk Assessment Panel“ einzurichten. Die grundlegenden Funktionen dieses Panels sollten denen des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ähneln, obgleich die Aufgabe des (UN) Risk Assessment Panels weniger die Analyse einmal erkannter Risiken ist als vielmehr die frühzeitige und integrierte Erfassung von neuartigen, erst ansatzweise identi-

fizierbaren Risiken von weltweiter Bedeutung umfassen sollte.

Das (UN) Risk Assessment Panel sollte nicht eigenständig forschen, sondern die bestehende relevante Forschung sichern und stimulieren, deren Ergebnisse kondensieren und – nach einem umfassenden internationalen wissenschaftlichen Bewertungsprozess – für die politischen Entscheidungsträger in einer sinnvollen Form aufbereiten. Hauptziel ist, einen Netzwerkknoten aufzubauen, in dem verschiedene nationale Risikoerfassungen und -bewertungen zusammenlaufen, systematisch gesammelt und aufeinander abgestimmt werden, so daß unter der Ägide dieses Panels bestimmte Aufgaben oder Funktionen, die in Kap. F 6 beschrieben werden, z. T. an bereits existierende internationale Organisationen oder Institutionen delegiert werden können. Ein solches Panel wäre demnach nicht mit der Gründung einer neuen internationalen Organisation verbunden, sondern würde auf die Kapazitäten und Kompetenzen bereits bestehender Organisationen zurückgreifen.

Insbesondere 5 Aufgabenschwerpunkte sollte das Panel wahrnehmen:

- *Frühwarnsystem:* Für eine internationale Vernetzung von Früherkennung und Frühwarnung sollten weltweit möglichst viele wissenschaftliche Daten und Erkenntnisse aus der Früherkennung gesammelt, systematisiert und synthetisiert werden, um eine zuverlässige Vorhersage drohender Gefahren gewährleisten zu können. Voraussetzung dafür wäre vermutlich die Unterstützung bestimmter Länder bei der Schaffung nationaler Früherkennungssysteme oder Risikozentren, insbesondere in vulnerablen Räumen.
- *Auswertung von Monitoring:* Das Panel sollte frühzeitig und handlungsorientiert die Ergebnisse der Monitoringsysteme auswerten. Einem internationalen Monitoring käme die Aufgabe zu, Risikopotentiale zu überwachen, zu kontrollieren und zu regeln. Zu bestimmten technischen und organisatorischen Standards müßten sich die Staaten selbst verpflichten, damit ein wirksames Monitoring gesichert wäre. Die Überprüfung und Einhaltung der Standards könnten in Gestalt eines „internationalen TÜV“ erfolgen (Kap. H 2.2.4). Institutionen wie die IAEO sollten dabei als Vorbild dienen. Ein internationales Monitoring kann nur dann gewährleistet werden, wenn nationale Überwachungsstrukturen durch institutionelle Vernetzung effektiv koordiniert werden.
- *Wissensgenese und -verteilung:* Ein (UN) Risk Assessment Panel kann als Multiplikator von „Risikowissen“ fungieren, indem er wissenschaftlich gesicherte Erkenntnisse der Risikoanalyse und Risikobewertung (Kap. C) für alle interessierten

Akteure zur Verfügung stellt. Darüber hinaus sollte das Panel Risikogrundlagenforschung anregen, unterstützen und koordinieren, um Wissenslücken in der Analyse und Bewertung bestimmter Risikopotentiale (im Grenzbereich, s. Kap. C) schließen zu können.

- *Internationales Verfahren der Risikoevaluierung:* Das vorgeschlagene (UN) Risk Assessment Panel könnte auch dazu beitragen, daß eine einheitliche Methode der Risikoanalyse und Risikobewertung kollektiv Gültigkeit erlangt, so daß Risikobewertungen besser vergleichbar und handhabbar werden würden. Der Beirat schlägt dazu vor, die in Kap. C eingeführte Differenzierung in Normal-, Grenz- und Verbotsbereich zugrunde zu legen. Globale Risikopotentiale müßten gemäß dieser Risikoklassifizierung behandelt werden. Eine kollektiv anerkannte Risikobewertung würde also jene Risikopotentiale, die sich im „roten Bereich“ bewegen, als inakzeptabel beurteilen und mit Verboten belegen. Im Grenzbereich müßten die Risikopotentiale mit Hilfe einer regulativen Politik bewältigt werden, wobei einer kontinuierlichen Wissensgenerierung erhebliche Bedeutung zukäme.
- *Fokussierung auf wichtigste Themenfelder und Bestimmung der „Sicherheitsstreifen“:* Das (UN) Risk Assessment Panel soll die wesentlichen Politikbereiche (beispielsweise 4–5 Felder) identifizieren, sich bei seiner Arbeit auf diese Bereiche konzentrieren und hierfür die „Sicherheitsstreifen“, also die noch akzeptablen Übergangsbereiche zu intolerablen Zuständen, bestimmen.

Die Funktion des Panels wäre demnach die interdisziplinäre Kondensierung der wissenschaftlichen Forschung zu den Risiken des Globalen Wandels (politikorientiertes Abwägen aller Einzelergebnisse), und zwar möglichst

- unabhängig vom direkten Interesse einzelner Staaten,
- unabhängig vom direkten Verwertungsinteresse der Privatwirtschaft,
- unabhängig vom direkten Einfluß privater politischer Verbände und Interessensgruppen.

Das (UN) Risk Assessment Panel sollte zudem als – wissenschaftlich fundierte – Schnittstelle zwischen privaten Akteuren (Umwelt- und Entwicklungsorganisationen, Wirtschaftsverbänden) und der Politik dienen, indem Eingaben von Nichtregierungsorganisationen ermöglicht, wissenschaftlich geprüft und bewertet werden. Eine wichtige Aufgabe des Panels wäre außerdem die Information der staatlichen und privaten Akteure (auf allen Ebenen) über den Erkenntnisstand zu allen Umweltrisiken von internationaler Bedeutung.

5.4

Schaffung wirkungsvoller Kapazitäten der Risikobewältigung

Die bisher ausgesprochenen Empfehlungen sollen dazu beitragen, daß Umweltrisiken entweder erst gar nicht entstehen oder rechtzeitig vorhergesehen bzw. richtig eingeschätzt werden können. Dennoch werden die entsprechenden politischen Maßnahmen allein nicht zur völligen Vermeidung von globalen Gefährdungspotentialen bzw. zur totalen Unterdrückung von regionalen Schadensereignissen führen. Entscheidend ist die Umsetzung von Wissen in Vorsorge- und Bewältigungshandlungen. Dafür fehlen selbst in vielen Industrieländern, v. a. aber in den meisten Entwicklungsländern, die notwendigen institutionellen und technischen Kapazitäten: auf internationaler Ebene sind lediglich erste Ansätze zu erkennen. Der Beirat spricht hierzu die folgenden Empfehlungen aus:

- *Nationalen und internationalen Katastrophenschutz ausbauen:* Mit Blick auf fast alle Risiken des Globalen Wandels muß auch in den Ausbau von Kapazitäten zur Katastrophengewältigung investiert werden. Wo nicht schon existierende Mechanismen greifen, wäre zu prüfen, ob nicht Strukturen geschaffen werden können, um akute Probleme zu lösen. National wird jede Regierung hier die entsprechenden Vorkehrungen zu treffen haben, wobei den finanziell überforderten Entwicklungsländern von der internationalen Gemeinschaft finanzielle und technische Unterstützung angeboten werden sollte. International könnte der Aufbau von überstaatlichen „Stand-by“-Katastrophenschutzeinheiten in Erwägung gezogen werden. Beispiele hierfür sind die Katastrophenschutzeinheiten des Roten Kreuzes oder die internationale Hilfstruppe für Dekontaminierung bei der IAEO. Diese Einheiten könnten als „schnelle Eingreiftruppe“ ausgebaut und unter Beachtung der nationalen Souveränitätsrechte speziell für die Bewältigung von Umweltkatastrophen geschult werden. Die zentrale Einsatzleitung wäre in eine internationale Organisation im Rahmen der Vereinten Nationen einzubetten und eng mit dem oben vorgeschlagenen (UN) Risk Assessment Panel zu koppeln. In diesem Zusammenhang sollte auch geprüft werden, ob die Implementierung eines internationalen Umweltinspektionssystems auf freiwilliger Basis die Risikoversorge und -nachsorge verbessern könnte.
- *Nichtstaatliche Umweltverbände stärken:* Ein wesentliches Element beim langfristigen Management von globalen Umweltrisiken könnte die Stärkung nichtstaatlicher Umweltverbände sein.

Mit Blick auf die innerstaatliche Politik wäre zu prüfen, inwieweit beispielsweise Umweltschutzverbände verstärkt über den Weg der Verbandsklage (oder Einzelpersonen über den Weg der Umweltklage) wirkungsvoller als bisher die Interessen der Umwelt und der zukünftigen Generationen einbringen könnten. Eine unbedachte Erweiterung der Klagemöglichkeiten oder gar die Einführung der Popularklage im Umweltrecht stößt aber auf Bedenken, weil sie Mißbrauchsmöglichkeiten eröffnen und zu internationalen Wettbewerbsverzerrungen führen könnte. Eine behutsame Erweiterung der Klagemöglichkeiten entspricht aber immerhin der Tendenz des europäischen Gemeinschaftsrechts. Voraussetzung dafür wäre die Förderung einer offenen Kommunikationskultur auf der Ebene von Betrieben, Gemeinden und innerhalb von Staaten, in der auch unterschiedliche Werthaltungen und unterschiedliche Vorstellungen von Lebens- und Umweltqualität Beachtung finden müßten. Auch auf internationaler Ebene haben die Umwelt- und Entwicklungsverbände eine immer größere Bedeutung erlangt. Zum Teil werden Nichtregierungsorganisationen auf diplomatischen Konferenzen und innerhalb der Vereinten Nationen bereits Anhörungsrechte zugestanden und Zugang zu vielen Dokumenten gewährt. Es sollte geprüft werden, inwieweit Nichtregierungsorganisationen noch wirksamer in die internationalen Verhandlungs- und Umsetzungsprozesse eingebunden werden könnten. Mit Blick auf eine globale Risikobewältigungsstrategie empfiehlt der Beirat insbesondere weitgehende Initiativrechte von Nichtregierungsorganisationen (einschließlich Wirtschaftsverbänden) vor dem empfohlenen (UN) Risk Assessment Panel. Das Problem der möglicherweise nicht gewährleisteten Legitimation privater Akteure ist dabei zu berücksichtigen.

- *Selbsthilfepotentiale in Entwicklungsländern fördern:* Der Beirat hat in seinen bisherigen Gutachten wiederholt darauf hingewiesen, daß die Risiken des Globalen Wandels sehr ungleich zwischen den Ländern und Bevölkerungsgruppen der Erde verteilt sind. Besonders gefährdet sind die Menschen in den Entwicklungsländern. Daher muß es ein wesentliches Element einer wirksamen globalen Risikopolitik sein, die Bewältigungskapazitäten in den Entwicklungsländern zu stärken, insbesondere die der am meisten gefährdeten armen Menschen. Selbsthilfeorientierte Armutsbekämpfung ist auch deshalb ein wichtiger Teil einer globalen Risikoversorge- und Abschwächungspolitik, weil sie nicht nur auf Breitenwirkung abzielt, sondern zugleich strukturelle Reformen in Staat und Gesellschaft anregt. In einigen Fällen müssen

zudem die Grundvoraussetzungen für einen wirksamen Umgang mit den Risiken des Globalen Wandels erst neu geschaffen werden, nämlich die Grundstrukturen einer aufgabenorientierten staatlichen Verwaltung. Auch hier ist die internationale Gemeinschaft in besonderer Weise in ihrer Solidarität gefordert. Insgesamt kann auf diese Weise das potentielle Schadensausmaß von Risiken durch weitere technische und finanzielle Zusammenarbeit deutlich gesenkt werden. Zwar leistet die deutsche Entwicklungszusammenarbeit mit ihren 3 Schwerpunkten „Armutsbekämpfung“, „Umwelt- und Ressourcenschutz“ sowie „Bildung und Ausbildung“ einen wichtigen Beitrag zur Bewältigung der Risiken des Globalen Wandels. Die vorhandenen Finanzmittel reichen aber nicht aus. Deshalb hat der Beirat in der Vergangenheit wiederholt eine deutliche Erhöhung der öffentlichen Mittel für die Entwicklungszusammenarbeit empfohlen (WBGU, 1996a–1998a). Das Bewältigungspotential einer Gesellschaft gegenüber den Risiken des Globalen Wandels, ihr Wissen über Verursachung und Wirkungszusammenhänge sowie ihre Fähigkeit, über Risiken zu kommunizieren, hängen direkt vom Bildungsniveau und der wissenschaftlichen Kompetenz ab. Aber gerade im Bildungsbereich hat sich das Nord-Süd-Gefälle in den letzten Jahren weiter verstärkt. Die Produktion von Risikowissen im Innovationsprozeß wird v. a. für jene Länder wichtig, deren Industrialisierung noch am Anfang steht und bei denen in Zukunft wichtige Entscheidungen in den Schlüsselbereichen der Wirtschaft anstehen. Wissenstransfer in allen sinnvollen Formen zwischen Industrie- und Entwicklungsländern ist deshalb ein unverzichtbares Instrument des globalen Risikomanagements. Das oben vorgeschlagene (UN) Risk Assessment Panel könnte hier eine wesentliche Rolle spielen.

5.5

Ökologische Kriterien der Entwicklungszusammenarbeit

Selbst die bestgemeinte Solidarität mit den durch den Globalen Wandel besonders gefährdeten Ländern und Gruppen ist zum Scheitern verurteilt, wenn nicht auch die Empfänger von Solidaritätsleistungen einige Grundregeln zum Schutz unserer gemeinsamen Umwelt beachten. Deshalb empfiehlt der Beirat, verstärkt über ökologische Kriterien von Entwicklungszusammenarbeit nachzudenken.

Der Umweltschutz wurde bereits 1975 von der Bundesregierung in den Zielkatalog der entwicklungspolitischen Zusammenarbeit aufgenommen

und 1986 zu einem der 5 fachlichen Schwerpunkte dieser Zusammenarbeit erklärt. Der Trend hat sich seit der Rio-Konferenz verstärkt. Mehr als ¼ aller bilateralen Gesamtzusagen im Rahmen der Entwicklungszusammenarbeit betreffen mittlerweile den Bereich des Umweltschutzes. Das waren in den letzten Jahren mehr als 1 Mrd. DM.

Der Beirat hält diese Aktivitäten für einen sehr wichtigen Beitrag zur Reduzierung globaler Umweltrisiken. Es wird begrüßt, daß die Umweltverträglichkeit als Element in die Projektvorhabensförderung des BMZ integriert wurde. Umweltstandards als Grundlage der Entwicklungszusammenarbeit sollten dabei zukünftig eine stärkere Bedeutung einnehmen. In diesem Zusammenhang sind die laufenden Bemühungen des Entwicklungsausschusses der OECD zu unterstützen, eine Harmonisierung der Schutz- und Kontrollmaßnahmen der unterschiedlichen Geberländer herbeizuführen. Nicht zuletzt sollte geprüft werden, ob auf europäischer Ebene die Verankerung des Schutzes der globalen Umwelt als ein Ziel der Entwicklungszusammenarbeit in Art. 130u Abs. 2 EGV bzw. nach Inkrafttreten des Amsterdamer Vertrages, Art. 177 Abs. 2 EGV gemeinschaftsweit verankert werden sollte.

5.6

Förderung der Risikomündigkeit

Eine dynamisch sich entwickelnde Weltgemeinschaft kann keinen risikofreien Weg gehen, wenn unverzichtbare sozioökonomische Chancen wahrgenommen werden sollen. Im übrigen kann gerade eine risikoscheue Politik sich langfristig als besonders riskant erweisen, da mit der Vermeidung bekannter Gefahren zugleich Optionen für die spätere Bewältigung unbekannter Risiken zunichte gemacht werden können. Der Globale Wandel bringt allerdings Risiken einer neuen Charakteristik mit sich (z. B. die Gefahr der Veränderung ozeanischer Strömungsmuster), die nahezu alle Menschen auf diesem Planeten gemeinsam, aber mit zumeist höchst unterschiedlichen Konsequenzen, betreffen und deren potentielle Auswirkungen weit in die Zukunft der Menschheit hineinreichen könnten. Diese besondere Risikoqualität erfordert eine neue Qualität der Risikoverantwortung, wie sie nur der „*risikomündige Bürger*“ wahrnehmen kann.

Der risikomündige Bürger sollte

- adäquat über den aktuellen Erkenntnisstand globaler Umweltrisiken informiert sein,
- weitestgehend bei wirklich kritischen Entscheidungen über die Inkaufnahme bestimmter Umweltrisiken einbezogen werden,
- die unter seiner Beteiligung getroffenen Entschei-

dungen auch dann mittragen, wenn sich diese im Nachhinein als fehlerhaft erweisen sollten.

Der Beirat empfiehlt der Bundesregierung zu prüfen, ob das existierende Instrumentarium zur Förderung dieser 3 Hauptelemente der Risikomündigkeit bisher tatsächlich ausgeschöpft worden ist bzw. ob dieses Instrumentarium weiterentwickelt werden sollte. Die nicht gerade vertrauensstiftenden Vorgänge im Zusammenhang mit BSE und Transporten von radioaktivem Material legen die Vermutung nahe, daß hier deutliche Verbesserungen möglich sind.

Allerdings sind 2 fundamentale Probleme zu überwinden: Zum einen müssen im Zusammenhang mit globalen, d. h. insbesondere Landes- und Generationengrenzen überschreitenden Gefahren kompetente, faire und effiziente Formen der politischen Repräsentanz und Partizipation entwickelt werden. Diese Herausforderung steht gegenwärtig im Mittelpunkt der Debatte über die Perspektiven von „Global Governance“. Der Prozeß der Gestaltung und Umsetzung der Klimarahmenkonvention stellt möglicherweise ein Paradigma dafür dar, was im globalen Kontext dem lokalen Willensbildungsprozeß (inklusive „Runder Tische“) entsprechen könnte.

Zum anderen ist Risikomündigkeit keine Zielvorstellung, die alle Bringschuld bei den politischen Mandatsträgern oder Behörden sieht. Das Angebot zur Information, zum Diskurs, zur Mitgestaltung und zur gemeinsamen Verantwortung muß auch vom „Weltbürger“ wahrgenommen werden. Insofern endet diese Zusammenfassung mit einem Aufruf zur Risikopartnerschaft an alle, die sich oder ihre Nachkommen von globalen Umweltveränderungen bedroht fühlen: selbst relative Sicherheit ist kein Gut, das ein wie auch immer geartetes Kollektiv zur freien Inanspruchnahme zur Verfügung stellen kann.

Einleitung

B

Was treibt den weltbekannten Bergsteiger Reinhold Messner, zu Fuß den höchsten Berg ohne Atemgerät zu erklimmen, was Menschen dazu, in Glücksspielen Haus und Hof zu verspielen? Warum wurden in England Überreste von Tierkadavern an Kühe verfüttert, ohne die damit verbundenen Risiken zu beachten? Warum fällt es der Menschheit so schwer, die Emissionen von Treibhausgasen zu reduzieren, obwohl die Risiken einer Klimaveränderung globale Katastrophen auslösen können? Warum haben die meisten Menschen mehr Angst vor dem Fliegen als vor dem Autofahren, obwohl das Unfallrisiko im Auto wesentlich größer ist? Warum lassen sich immer weniger Menschen impfen, obwohl die Gefahr von Seuchen eher zu- als abnimmt? Auf all diese Fragen gibt es keine einfachen Antworten. Denn es ist nicht nur das Risiko, verstanden als Kombination von Ausmaß und Wahrscheinlichkeit negativer Folgen, welches Völker und Individuen dazu antreibt, bestimmte Aktivitäten und Technologien als tolerabel oder sogar erstrebenswert anzusehen. Daneben bestimmen auch und v. a. die sozialen, politischen und kulturellen Begleitumstände sowie die individuelle und kulturelle Bewertung die Reaktion der Menschen auf die sie umgebenden Risiken (Shrader-Frechette, 1991; Luhmann, 1991; Krücken, 1997).

Der Beirat hat sich in diesem Gutachten des heiklen und umfassenden Themas „Risiko“ angenommen, weil viele der Gefährdungen, die der Menschheit drohen, nicht mit Sicherheit, sondern nur mit einer mehr oder weniger bestimmbaren Wahrscheinlichkeit eintreten werden. Ob beispielsweise der für Europa lebenswichtige Golfstrom aufgrund anthropogener Klimaveränderungen möglicherweise versiegen wird, ob durch die Rodung von Regenwäldern in Zukunft dringend benötigtes Genmaterial vernichtet wird, ob durch hohe Verdichtung und hohe Mobilität neue katastrophale Seuchen die Welt heimsuchen werden, läßt sich weder mit Sicherheit voraussagen noch ausschließen. Die Liste der globalen Risiken ließe sich beliebig fortsetzen. Wie soll eine Gesellschaft, wie soll die Staatengemeinschaft insgesamt mit diesem Bedrohungspotential umgehen? Auf der einen Seite ist gesellschaftlicher Wandel ohne das bewußte Eingehen von Risiken nicht möglich, auf der anderen Seite greift die Menschheit bereits so tief in die natürlichen Kreisläufe ein, daß die damit verbundenen Risiken nicht mehr, wie früher, nur regionale, sondern inzwischen auch globale Auswirkungen haben (Zürn und Take, 1996).

In diesem globalen Netzwerk spielen Umweltrisiken eine besonders wichtige Rolle. Da die meisten ökologischen Zusammenhänge nur durch komplexe, nichtlineare Modelle wissenschaftlich erfaßt werden können, verbleiben dort notgedrungen Unsicherheiten und Mehrdeutigkeiten (Renn, 1996). Vielfach

werden diese Unsicherheiten von der Politik als Entschuldigung für „Nicht-Handeln“ herangezogen, häufig dienen aber auch kleinste Unsicherheiten als Vorwand für überzogene Vorsichtsmaßnahmen. Der Beirat hat sich deshalb mit diesem Gutachten die Aufgabe gestellt, die globalen Risiken, die mit Umweltveränderungen einhergehen, nach Typen zu charakterisieren, ihr jeweiliges Bedrohungspotential zu beschreiben, die psychischen, sozialen, wirtschaftlichen und kulturellen Einflußfaktoren auf Risiken zu analysieren und auf dieser Basis Managementstrategien zu entwickeln, die den unterschiedlichen Typen der globalen Risiken angemessen sind. Mit den im Gutachten beschriebenen Anregungen zu Risikofassung, -bewertung und -management, so hofft der Beirat, können die objektiven Gefährdungen zielgerichteter und effizienter politisch bewältigt werden. Der Beirat beschränkt sich bei diesem Gutachten *allein* auf solche Risiken, die in ihrer Wirkungskette Konsequenzen für die Umwelt einschließen und die *über* den nationalen Wirkungsbereich hinausgehen.

Das hohe Risikopotential menschlicher Aktivitäten ist nicht der einzige Grund, weshalb sich der Beirat zur Behandlung dieses Themas entschlossen hat. Risiken erleben z. Z. in der öffentlichen Diskussion Hochkonjunktur. Jeden Tag jagen sich die Pressemitteilungen über Unfälle, drohende Katastrophen und schleichende Gesundheitsgefährdungen. Obwohl Gefährdungen von Umwelt und Gesundheit zu allen Zeiten bestanden haben, ist „Risiko“ erst in jüngster Zeit zu einem öffentlichen Thema geworden. Der hohe Aktualitätsgrad des Themas „Risiko“ ist v. a. auf 4 Faktoren zurückzuführen:

1. *Vom Schicksalsschlag zum kalkulierten Risiko:* Zu allen Zeiten haben Menschen Vorsorge gegen Gefahren getroffen. Der Mangel an antizipativem Wissen führte sie aber dazu, negative Ereignisse weniger als Resultate ihres eigenen Verhaltens, sondern vielmehr als „gottgegebene Strafe“ oder Schicksalsschläge anzusehen (Wiedemann, 1993). Ob Pest, Mißernten oder Dammbrüche, alle diese nach heutigem Verständnis durch menschliches Verhalten zumindest mitbeeinflussten Katastrophen wurden weitgehend als von außen gelenkte Schicksalsschläge oder als Bestrafung für sündhaftes Verhalten gedeutet. Im Zeitalter der Moderne, so der Soziologe Niklas Luhmann, seien die von Menschen als extern gesehenen Gefahren, denen man sich früher passiv ausgesetzt fühlte, in durch die Gesellschaft regelbare Risiken transformiert worden (Luhmann, 1991, 1993). Risikomanagement, die moderne Formel zur Reduzierung und Regelung unerwünschter Nebenfolgen menschlicher Aktivitäten, ist ein beredtes Zeugnis für die Transformation von ursprünglich extern wahrgenommenen Gefahren in gesellschaftlich

- bearbeitbare, sozial beeinflussbare und geregelte Aktivitäten zur Begrenzung unerwünschter Handlungsfolgen. Selbst Naturkatastrophen werden heute zwar nicht als vom Menschen verursacht, aber durch sein Verhalten in den jeweiligen Konsequenzen verstärkte oder abgeschwächte Gefährdungen angesehen. Gleichzeitig wächst mit der Einbeziehung des Risikos in die Handlungssphäre des Menschen der Anspruch an die Institutionen des Risikomanagements, effektive Risikovorsorge zu treffen, um negative Ereignisse auszuschließen oder zu begrenzen (O’Riordan, 1983; Evers und Nowotny, 1987; Kleinwellfonder, 1996).
2. *Übergang von naturgegebenen zu zivilisationsbedingten Gefahren:* Mit den Errungenschaften der Technik, Medizin und Hygiene hat sich der relative Anteil naturgegebener Gefahren (z. B. Infektionskrankheiten) verringert und der Anteil zivilisatorischer Risiken (z. B. durch Technik, Ernährung oder Freizeitaktivitäten) erhöht (Fritzsche, 1986). Todesfälle in jungen Jahren waren vor rund 100 Jahren v. a. auf Infektionskrankheiten zurückzuführen, die man, ebenso wie große Naturkatastrophen, als Schicksalsschläge hinnehmen mußte (Harriss et al., 1979; Hohenemser et al., 1983). Unfälle oder umweltbedingte Schädigungen standen dagegen, sofern man sie überhaupt mit menschlichen Aktivitäten in Verbindung brachte, weitgehend im Hintergrund. Dagegen gelten heute Unfälle im Straßenverkehr, Krebserkrankungen durch Rauchen, ungesunde Lebensweise und Umweltbelastungen als dominante individuelle Risikofaktoren in modernen Industriegesellschaften.
 3. *Ausweitung des Katastrophenpotentials bei Verringerung des Individualrisikos:* Die Entwicklung der Technik ist in weiten Bereichen durch eine Tendenz zur Erhöhung des Katastrophenpotentials bei gleichzeitiger Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeit gekennzeichnet (Lübbe, 1993). Die Möglichkeit großer Katastrophen, so gering ihre Wahrscheinlichkeit auch sein mag, wird bewußt in Kauf genommen, um einerseits die individuelle Schadenswahrscheinlichkeit gering zu halten, andererseits wirtschaftliche Vorteile in Form ökonomischer Skaleneffekte (Verbilligung durch Massenproduktion) zu nutzen (Perrow, 1984). Das Fahren mit der Eisenbahn statt mit einem privaten Auto ist aus ökonomischer Sicht günstiger in Bezug auf die wirtschaftliche Ressourcennutzung und sicherer bezogen auf die individuelle Unfallwahrscheinlichkeit (Akademie der Wissenschaften zu Berlin, 1992). Dennoch ist die Zahl der Opfer im Fall eines Eisenbahnunglücks höher als bei einem Unfall im Straßenverkehr. Wesentlich dramatischer ist diese Beziehung im Bereich der Kernenergie oder großer Chemieanlagen. Die Erhöhung des Katastrophenpotentials bei gleichzeitiger Verringerung des individuellen Schadensrisikos verlangt kollektive Entscheidungsprozesse (im Gegensatz zur persönlichen Entscheidung, ein Risiko in Kauf zu nehmen) und damit auch eine besondere Berücksichtigung der Verteilungswirkungen von Nutzen und Risiken (MacLean, 1987).
 4. *Zunehmende Bedeutung ökologischer Risiken für das individuelle Wohlbefinden:* Der individuelle Grenznutzen ökonomischen Wohlstands im engeren materiellen Sinn ist im Zeichen wirtschaftlicher Prosperität und Konsumvielfalt gegenüber dem Grenznutzen von allgemeiner Gesundheit, sauberer Umwelt und psychischem Wohlbefinden gesunken (Klages, 1984; Renn und Zwick, 1997). Um so schwieriger ist es deshalb, Risiken zu rechtfertigen, deren Nutzen weitgehend ökonomischer Natur ist. Zwar ist das Thema Umwelt nicht mehr so populär wie noch vor einigen Jahren, aber die überwiegende Mehrheit der Deutschen spricht sich nach wie vor für eine Verbesserung des Umweltschutzes aus (BMU, 1996). Umweltrisiken bleiben wichtige Themen der öffentlichen Wahrnehmung und Politik.
- Alle 4 Faktoren haben dazu beigetragen, daß Risiko als gesellschaftliches Problem erkannt wurde und sowohl national als auch international politische Schlagkraft gewonnen hat. Mit der Verbesserung der Prognosefähigkeit und der zunehmenden moralischen Selbstverpflichtung der modernen Gesellschaft, Risiken zu begrenzen, wachsen die Ansprüche der Bürger an die politischen und wirtschaftlichen Entscheidungsträger, die Zukunft aktiv zu gestalten und vorausschauend auf mögliche Gefährdungen durch die natürliche und technische Umwelt zu reagieren. Sicherheit gegen zukünftige Gefahren und vorausschauendes Risikomanagement sind daher zentrale Anliegen nahezu aller Bevölkerungsgruppen (BMU, 1996).
- Ein hohes Risikobewußtsein und der verständliche Wunsch, Risiken so weit wie möglich zu minimieren, beinhalten allerdings die Gefahr, daß die für die Bewältigung der globalen Wandlungsprozesse notwendigen Innovationen technischer und sozialer Natur aus Angst vor möglichen Schäden unterbleiben. Aus diesem Grund sieht der Beirat dieses Gutachten auch als einen Versuch, durch Vorschläge zu angemessenen Strategien des Risikomanagements und durch eine kluge Verbindung von Genehmigung, staatlicher Regulierung und Haftungsregeln für versicherbare Risiken sowie der Anwendung staatlicher Vorsorgeprinzipien bzw. institutioneller Vorkehrungen für Risiken mit hoher Ungewißheit ein höheres Maß an Zuversicht in die Managementkapazität moderner Gesellschaften zu legen und damit zu einer „Versachlichung“ der internationalen Risikodebatte

beizutragen. Versachlichung bedeutet in diesem Zusammenhang nicht, die potentiellen Opfer der Risiken für ihre verständliche Risikoangst zu maßregeln. Noch weniger geht es dem Beirat um eine Verharmlosung globaler Risiken. Vielmehr versteht der Beirat den Begriff der Versachlichung als eine dringend gebotene Aufforderung, den realen Gefahren mit allen damit verbundenen Unsicherheiten und Mehrdeutigkeiten zielführend, rational und effizient zu begegnen und gleichzeitig die mit dem Eingehen von Risiken verbundenen Chancen zu nutzen.

Dazu sind Sachwissen zur Bestimmung des Risikos auf der einen und Orientierungswissen zur Bestimmung der Akzeptabilität von Risiken auf der anderen Seite dringend erforderlich (Renn, 1997a). Eine Pluralisierung des Sachwissens ist im Risikobereich zwar besonders populär, aber für ein effektives Risikomanagement kontraproduktiv. Die Realität ist: Menschen sterben und leiden aufgrund von falschem Wissen. Gerade weil das Folgewissen von Risikoentscheidungen mit Unsicherheiten verbunden ist und damit eine große Bandbreite legitimer Wahrheitsansprüche umfaßt, ist es notwendig, methodisch zuverlässiges Wissen von bloßen Vermutungen oder Spekulationen zu trennen. Wenn die Grenzen zwischen wissenschaftlich abgesichertem Wissen und bloßen Vermutungen bzw. anekdotischem Wissen verschwimmen, findet jede noch so absurde Risikoangst eine quasi wissenschaftgestützte Rechtfertigung. Die Bestimmung der Bandbreite methodisch abgesicherten Wissens sollte vom Wissenschaftssystem selbst geleistet werden, da nur dort die methodischen Zwänge und Sprachspiele vorhanden sind, um konkurrierende Wahrheitsansprüche sinnvoll ein- bzw. aufzulösen. Deshalb sind auch die Forschungsanstrengungen im Risikobereich so wesentlich und unverzichtbar (Kap. H 1).

Der Beirat hat sich bemüht, die in diesem Gutachten beschriebenen Risiken so sachlich wie möglich zu analysieren und die mit den Risiken verbundenen Schadenspotentiale sowie auch die dabei auftretenden Unsicherheiten so genau wie möglich darzulegen. Dennoch ist dies kein Gutachten über Gentechnik, Kernenergie oder Vulkanausbrüche. Dazu wäre ein einziges Gutachten auch gar nicht in der Lage. Vielmehr werden diese Risiken als Belege dafür benutzt, auf die möglichen Gefährdungen und deren Wirkungsweisen hinzuweisen, und gleichzeitig als Illustrationen eingesetzt, um die vom Beirat entwickelte Risikotypologie abzuleiten und mit Leben zu füllen. Mit Hilfe dieser Typologie ist es nach Ansicht des Beirats möglich, eine Vielzahl unterschiedlicher Risiken zu einer Klasse zusammenzufassen und hinreichend genau zu charakterisieren. Durch diese Klassifizierung wird zum einen das Verständnis von Risiken gefördert, zum anderen hilft es den Entschei-

dungsträgern, für jeden Typ spezielle Verfahrens- und Managementregeln zu entwerfen, ohne in einer Vielzahl risikospezifischer Einzelmaßnahmen unterzugehen.

Neben dem Sachwissen ist aber auch Orientierungswissen für den Umgang mit Risiken unerlässlich. Die Frage nach der Zumutbarkeit von Restrisiken, die Entscheidung, wie mit Unsicherheiten und Ungewißheiten umzugehen sei, die Probleme einer fairen Verteilung von Risiken und Nutzen sind auf normative Vorgaben angewiesen. Niemand kann die Zumutbarkeit oder Unzumutbarkeit von Kerntechnik, Anwendungen der Gentechnik oder Müllverbrennungsanlagen logisch eindeutig ableiten – weder faktisch, noch normativ. Risikoentscheidungen sind immer von beidem, dem Folgewissen und der moralischen Bewertung der erwarteten Folgen geprägt. Der Beirat hat sich bemüht, Verfahrensvorschläge zu entwickeln, die eine faktisch gebotene und moralisch vertretbare Risikopolitik ermöglichen. Diese Verfahrensvorschläge umfassen auf der einen Seite Strategien zum Risikomanagement, die auf die oben erwähnten Risikotypen zugeschnitten sind, auf der anderen Seite zentrale Handlungs- und Forschungsempfehlungen, die sich aus der besonderen Verantwortung des Beirats für die Behandlung und Bewertung globaler Umweltveränderungen ergeben (Kap. H 1 und H 2).

Risiko: Konzepte und Anwendungen

C

1.1

Analytische Vorgehensweise

Risiko beruht auf dem Gegensatz zwischen Realität und Möglichkeit (Markowitz, 1990). Erst wenn die Zukunft als von Menschen zumindest teilweise gestaltbar angesehen wird, ist es möglich, potentielle Gefahren zu vermeiden oder deren Konsequenzen zu mildern (Ewald, 1993). Diese Aussage erscheint für den modernen Menschen trivial. Dennoch ist der überwiegende Teil der menschlichen Geschichte von einer fatalistischen Einstellung zur Zukunft geprägt gewesen (Covello und Mumpower, 1985). Das Denken in Kategorien von Risiko (und auch Chance) setzt dagegen ein Mindestmaß an Gestaltbarkeit der Zukunft und damit Vermeidbarkeit von unerwünschten Ereignissen durch Vorsorge voraus. Die Vorhersage von möglichen Gefahren ist darauf angewiesen, daß kausale Beziehungen zwischen der Verursachung der Gefahr und den Konsequenzen gezogen werden können. Diese Kausalbeziehungen können systematisch, anekdotisch, religiös oder magisch sein (Douglas, 1966; Wiedemann, 1993). Da die Konsequenzen unerwünscht sind, umfaßt Risiko immer auch ein normatives Konzept. Die Gesellschaft ist angehalten, Risiken zu vermeiden, zu verringern oder zumindest zu kontrollieren. Mit Zunahme der technischen Gefahrenpotentiale und der kulturellen Einverleibung von externen Gefahren in berechenbare Risikokalküle wächst der Bedarf an Risikowissenschaft und -management (Beck, 1986).

Risiken bezeichnen also mögliche Folgen von Handlungen, die im Urteil der überwiegenden Zahl der Menschen als unerwünscht gelten. Risikokonzepte in den unterschiedlichen Disziplinen unterscheiden sich nach der Art und Weise, wie diese Handlungsfolgen erfaßt und bewertet werden. Dabei treten 4 Kernfragen in den Vordergrund (Renn, 1992, 1997b):

1. *Was sind erwünschte und was sind unerwünschte Folgen?* Oder konkreter: Wie können die möglichen Schadenskategorien definiert und nach welchen Kriterien positive (d. h. erwünschte) und ne-

gative (d. h. unerwünschte) Konsequenzen von Handlungen oder Ereignissen unterschieden werden? Reicht es aus, daß diese Unterscheidung von den Individuen in eigener Regie getroffen werden, oder werden kollektive Entscheidungsprozesse benötigt? Dazu legt der Beirat in Kap. C 2 Vorschläge vor.

2. *Wie lassen sich diese Folgen vorhersagen oder wenigstens intersubjektiv gültig abschätzen?* Welche methodischen Werkzeuge gibt es, um mit Unsicherheit umzugehen und um die Wahrscheinlichkeit und das Ausmaß der (in Frage 1 definierten) Schadensmöglichkeiten abzuschätzen? Die Frage nach der Abschätzbarkeit von Risiken wird weitgehend im Kap. C 1 abgehandelt.
3. *Welche Möglichkeiten gibt es, Risiken in bestimmte Risikoklassen einzuteilen?* Welche Risikoeigenschaften neben Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß spielen für die Bewertung von Risiken noch eine wichtige Rolle? Gibt es typische Risikoklassen, die es uns erlauben, Risiken nach Prioritäten zu ordnen (Kap. C 3, C 4)?
4. *Welche Kombination und welche Verteilung von erwünschten und unerwünschten Folgen legitimieren die Ablehnung oder Zustimmung zu einer riskanten Handlung?* Nach welchen Kriterien kann eine Bewertung von Risiken vorgenommen werden, und wie lassen sich Risiken und Nutzen miteinander verrechnen? Diese Thematik wird in Kap. C 3 aufgegriffen, in den Kap. F und G vertieft sowie auf die entsprechenden Handlungsempfehlungen in Kap. H hin ausgerichtet.

Die erste Frage bezieht sich auf die *soziale Definition von erwünschten und unerwünschten Folgen*. Wer setzt fest, was für eine Gesellschaft erwünscht ist und was nicht? Sind nur physische Konsequenzen, wie Tod, Verletzung oder ökologische Schäden, in die Kategorie der unerwünschten Folgen einbezogen oder auch die Verletzung sozialer Beziehungen und kultureller Werte? Wenn man eine breite Definition von Schadenskategorien bevorzugt, stellt sich gleich die weitere Frage, welchen Stellenwert die jeweiligen Schadenskategorien einnehmen sollen (Berg et al., 1994). Sind psychische Belastungen weniger stark zu

gewichten als chronische Erkrankungen und sind diese wiederum weniger wichtig als Invalidität?

Der Beirat mußte in dieser Frage eine Festlegung treffen. Da er sich vorrangig mit Umweltauswirkungen beschäftigt, hat er für dieses Gutachten lediglich solche Schadenskategorien aufgenommen, die im Verlauf der Schadenskette eindeutig Umweltauswirkungen einbeziehen. Reine zivilisatorische Risiken, die von Menschen ausgehend auch auf Menschen wirken, sind also nicht Gegenstand dieses Gutachtens (Kap. C 2). Darüber hinaus werden in diesem Gutachten nur solche Gefahren aufgenommen, die zum einen globaler Natur sind (Kap. C 2.4) und deren Folgen zweitens aus Sicht des Beobachters mit Unsicherheit verbunden sind. Umweltauswirkungen, die mit Sicherheit zu erwarten sind, werden hier nicht weiter behandelt, selbst wenn die Auswirkungen besonders gravierend sind. Zum Beispiel ist der Umweltschaden, der jedes Jahr durch die routinemäßige Verklappung von Ölrückständen aus Schiffen in die Weltmeere ausgelöst wird, kein Gegenstand dieses Gutachtens.

Die 2. Frage berührt die *Ebene der Vorhersagbarkeit der Folgen*. Welche Möglichkeiten existieren, um die Wahrscheinlichkeit von Folgen zu errechnen? Da Zukunft prinzipiell unbestimmt ist, läßt sich die Übereinstimmung zwischen Vorhersage und realen Konsequenzen nicht streng empirisch messen, sie läßt sich bestenfalls *ex post*, also nach Ablauf der Lebensdauer der jeweiligen Risikoquelle, bestimmen. Diese Ungewißheit bedeutet nicht Handlungsunfähigkeit, sondern die Notwendigkeit, das eigene Handeln an unsicheren, aber keinesfalls beliebigen Abschätzungen von Handlungsfolgen auszurichten (Birnbacher, 1994; Bonß, 1996). Dabei geht der Beirat davon aus, daß es trotz verbleibender Ungewißheiten und Ahnungslosigkeiten bessere oder schlechtere Vorhersagen gibt, daß also Qualitätskriterien zur Bewertung von Risikoabschätzungen existieren. Es muß demnach Ziel einer jeden Risikoanalyse sein, so genau wie möglich die Wahrscheinlichkeit und das Ausmaß der Auswirkungen von Aktivitäten oder Ereignissen vorherzusagen, wobei andere risikobezogene Faktoren mit berücksichtigt werden müssen (Kap. C 1, C 3). Darüber hinaus gilt es, Strategien der vorausschauenden Risikovermeidung und v. a. -begrenzung zu entwickeln, um auch die Tragweite nicht vorhersehbarer Risiken begrenzen zu können (Kap. G).

Die 3. Frage ist auf die *speziellen Charakteristika der Risiken* ausgerichtet, die eine besondere Aufmerksamkeit der Gesellschaft erfordern. So sind Risiken danach zu beurteilen, wie sie in Bezug auf die Kriterien der zeitlichen Persistenz schädlicher Auswirkungen, der räumlichen Verteilung (Ubiquität), der Irreversibilität und anderen abschneiden (Jungermann, 1986; California Environmental Protection

Agency, 1994; Margolis, 1996). Solche Begleitumstände des Risikos sind dann von besonderer Wichtigkeit, wenn noch wenig über die kausalen Zusammenhänge zwischen Emission, Exposition und Wirkung bekannt ist (Kap. C 3).

Die 4. Frage schließlich umfaßt die *normative Komponente der Risikoakzeptanz*. Dabei geht es um die Beantwortung der folgenden Fragen:

- Welche unerwünschten Folgen sind für eine Gesellschaft noch tragbar und welche nicht?
- Wieviel Ungewißheit ist hinnehmbar, wenn die Folgen katastrophale Auswirkungen haben können?
- Sind positive und negative Folgen in den Augen der betroffenen Personen (auch global) gerecht verteilt?

Alle 3 Aspekte, die Verrechenbarkeit von negativen und positiven Folgen, die Auswahl einer Strategie zum Umgang mit Unsicherheit sowie die Verteilung von antizipierten Folgen über unterschiedliche Gruppen, müssen bei der Frage nach der Akzeptabilität von Risiken berücksichtigt werden (Rowe, 1979; Fischhoff et al., 1981; NRC, 1983; Clarke, 1989; Hood et al., 1992; Vlek, 1996).

Um solche Bewertungen systematisch durchführen zu können, schlägt der Beirat eine Risikoklassifizierung vor, die bestimmte Risikotypen zusammenfaßt und jeweils nach Typ getrennt Strategien für den rationalen Umgang mit den Risiken festlegt. In Kap. C 4 sind diese Typen erklärt und abgeleitet. Die daraus folgenden Handlungsanleitungen finden sich in den Kap. F und G. Solche Bewertungen sind offensichtlich keine rein wissenschaftlichen, auf Wissen beruhenden Entscheidungen, sondern setzen die explizite oder zumindest implizite Einbeziehung von sozialen und kulturellen Werten und Präferenzen der betroffenen Individuen und Gruppen in einer Gesellschaft voraus (Shrader-Frechette, 1991).

1.2

Begriffliche Abgrenzungen: Risiko und Unsicherheit

Schadensausmaß

Die beiden zentralen Kategorien, die beim Thema Risiko eine Rolle spielen, sind Schadensausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit (Knight, 1921; NRC, 1983; Fischhoff et al., 1984; Fritzsche, 1986; Short, 1984; Bechmann, 1990; EC, 1993; Kolluru und Brooks, 1995; Hood und Jones, 1996; Banse, 1996; Rosa, 1997). Unter Schaden soll hier eine im allgemeinen Verständnis der Bevölkerung (d. h. von der überwiegenden Zahl der Menschen intuitiv) als negativ bewertete Auswirkung einer menschlichen Aktivität (etwa Unfälle durch Autofahren, Krebs durch Rau-

chen, Waldsterben durch Schadstoffe) oder eines Ereignisses (etwa Vulkanausbruch, Erdbeben, Explosion) verstanden werden. Die Dimension, die durch einen Schaden als verletzt angesehen wird, bezeichnet man als Schutzgut. Welche Schutzgüter im Rahmen globaler Umweltrisiken von Bedeutung sind, wird in Kap. C 2 im einzelnen aufgeführt. Als *Schadens-* oder *Gefährdungspotential* gilt die Summe der möglichen Schäden, die durch eine Aktivität oder durch ein Ereignis ausgelöst werden könnten. Rein formal betrachtet ist die Summe der denkbaren Schäden immer unendlich, da man sich zu jedem Ereignis mit einer einmal abgeschätzten Zahl von Schäden auch einen alternativen Schadensverlauf mit einer noch größeren Zahl an Schäden vorstellen kann. In der Praxis zeigt sich aber, daß es durchaus möglich ist, Begrenzungen des maximal möglichen Schadensausmaßes anzugeben (Morgan, 1990). Offenkundig ist das Schadenspotential eines Autounfalls geringer einzustufen als das Potential, das bei der Explosion eines Chlorgaslagers freigesetzt werden könnte.

Eintrittswahrscheinlichkeit

Die Frage nach der Eintrittswahrscheinlichkeit erzeugt größere terminologische Probleme. Anders als bei der Messung physischer Schäden gibt es keine eindeutige Methode zur Bestimmung von Eintrittswahrscheinlichkeiten (Tittes, 1986; Hauptmanns et al., 1987; Kaplan und Garrik, 1993). Tritt ein Ereignis immer wieder zu einem bestimmten Zeitpunkt ein (etwa Ebbe und Flut oder Jahreszeitenwechsel), dann spricht man nicht von einem Risiko, sondern von einem sicheren Ereignis, selbst wenn dieses Ereignis in der Zukunft liegt. Denn in diesem Fall liegt die Eintrittswahrscheinlichkeit bei 1; d. h. das Ereignis wird mit Sicherheit eintreten. Solche Ereignisse werden in diesem Gutachten nicht behandelt. Der Begriff Risiko wird vielmehr auf die Schadensereignisse angewandt, bei denen Informationen oder auch nur Spekulationen über die relative Häufigkeit dieses Ereignisses über die Zeit vorliegen, der genaue Zeitpunkt des Ereignisses oder zumindest das Ausmaß von zyklischen Ereignissen aber ungewiß bleiben.

In der Medizin wird der Begriff des Risikos auch zur Charakterisierung einer Schadensmöglichkeit verwendet, bei dem nicht der Zeitpunkt des Gefahrenereignisses ungewiß ist, sondern die Zahl und die Identität der Personen, die vom Schaden betroffen sind (Lave, 1987; Graham et al., 1988). In der Kanzerogenese können identische Expositionen von Individuen in einem Fall zur Tumorbildung führen, in einem anderen Fall dagegen nicht (Hoberg, 1994). So mag ein Raucher bei einem Konsum von 10 Zigaretten am Tag Lungenkrebs entwickeln, während ein anderer bei gleichen Konsumgewohnheiten ver-

schont bleibt. Risikoabschätzungen machen es daher prinzipiell unmöglich, auf der Basis beobachteter oder geschätzter Häufigkeiten von Ereignissen über die Zeit oder über eine Menge von Individuen hinweg konkrete Schadensfälle im einzelnen vorherzusagen (Rowe, 1983). Risikoaussagen beziehen sich immer auf Wahrscheinlichkeiten. Die Tatsache, daß ein Ereignis im Durchschnitt 1mal in 1.000 Jahren zu erwarten ist, sagt folglich nichts über den Zeitpunkt aus, an dem das Ereignis wirklich stattfinden wird: Es kann morgen, erst in 10.000 Jahren oder auch noch später eintreffen.

Um die Qualität der *Ungewißheit*, die mit der Abschätzung der Wahrscheinlichkeit von Schadensprognosen einhergeht, terminologisch zu fassen, werden in der Literatur unterschiedliche Begriffe verwandt (Fritzsche, 1986; Häfele et al., 1990; Bonß, 1991; Beroggi und Kröger, 1993; Bechmann, 1994; Rosa, 1997). Dabei stößt man auf Begriffe wie Unsicherheit, Ungewißheit, Ahnungslosigkeit, Unbestimmtheit oder auch Undeutlichkeit. Um Fehlinterpretationen so weit wie möglich zu vermeiden, geht der Beirat in diesem Gutachten von folgenden Begriffsbestimmungen zur Charakterisierung von Ungewißheit bei Risikoabschätzungen aus:

Ahnungslosigkeit bedeutet Unkenntnis sowohl über die möglichen Schadensfolgen als auch über die Eintrittswahrscheinlichkeit. So war die Gesellschaft z. B. in den 50er Jahren ahnungslos über die Wirkungen der FCKW auf die stratosphärische Ozonschicht, oder Ende der 70er Jahre in Bezug auf AIDS. Im Stadium der Ahnungslosigkeit kann man allgemeine Strategien der vorsichtigen Umsetzung, der weiteren Forschung und der in Kap. G näher beschriebenen Vorsorgemaßnahmen empfehlen.

Ein *unbestimmtes Risiko* kennzeichnet dagegen eine Situation, in der das Schadensausmaß zwar weitgehend bekannt ist, man aber keine verlässlichen Aussagen über die Eintrittswahrscheinlichkeit machen kann. Hat man dagegen Anhaltspunkte zur Bestimmung sowohl der Eintrittswahrscheinlichkeit als auch des Ausmaßes (im Sinn einer Schadensausmaß-Wahrscheinlichkeits-Funktion) so wird der Grad der Verlässlichkeit dieser Bestimmung beider Risikokomponenten als *Abschätzungssicherheit* bezeichnet. Ist die Verteilungsfunktion von Eintrittswahrscheinlichkeiten und korrespondierenden Schadensausmaßen bekannt, ist die Abschätzungssicherheit hoch; ist diese jedoch nur in Ansätzen erkennbar und mit erheblichen Fehlerkorridoren versehen, dann ist die Abschätzungssicherheit gering. Läßt sich die Abschätzungssicherheit durch statistische Verfahren (beispielsweise 95%iges Konfidenzintervall) quantifizieren, wird von *statistischer Unsicherheit* gesprochen.

Die Bestimmung der statistischen Unsicherheit wird im Normalfall durch Methoden der klassischen Statistik durchgeführt. Sind dazu aber nicht genügend Daten aus der Vergangenheit verfügbar oder ist die Varianz der Verteilung sehr hoch, dann werden in den Sicherheitswissenschaften auch subjektive Schätzwerte als Annäherung an die „objektive“ Verteilung relativer Häufigkeiten verwendet (Hauptmanns et al., 1987; Edwards, 1968).

Die allgemeine Tatsache, daß alle Risikoabschätzungen unsicher bleiben, soll hier mit dem Begriff der *Ungewißheit* umschrieben werden. Ungewißheit ist also der Überbegriff für Ahnungslosigkeit und Unbestimmtheit. In der Literatur wird dieser nicht auflösbare Unsicherheitsraum auch häufig mit dem Terminus Unsicherheit belegt (Krücken, 1997). Wegen der leichten Verwechslungsgefahr mit dem Begriff der statistischen Unsicherheit bevorzugt der Beirat in diesem Gutachten den Begriff der Ungewißheit, wenn die grundsätzliche Unfähigkeit zur deterministischen Prognose von Schadensereignissen gemeint ist (Bonß, 1996). Ungewißheit ist eine grundsätzliche Eigenschaft des Risikos, während die Abschätzungssicherheit zwischen extrem hoch und extrem niedrig variieren kann.

Auch wenn es nicht möglich ist, auf der Basis von Risikoabschätzungen objektive Vorhersagen über einzelne Schadensereignisse zu machen, so ist die Abschätzung doch keineswegs beliebig (Rosa, 1997). Wenn es 2 Handlungsoptionen gibt, bei denen das gleiche unerwünschte Ereignis mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit eintritt, dann ist die Folgerung für eine Entscheidung unter Ungewißheit eindeutig: Jeder rational denkende Mensch würde sich für die Handlungsoption mit der geringeren Eintrittswahrscheinlichkeit entscheiden (Renn, 1996). Gäbe es z. B. etwa beim russischen Roulette die Wahl zwischen einem Revolver mit 1 Kugel oder einem mit 2 Kugeln, dann ist offenkundig das Spiel mit 1 Kugel weniger risikoreich. Es ist dabei aber keineswegs ausgeschlossen, daß man beim Spiel mit 1 Kugel schon beim ersten Versuch das Leben verliert oder daß man beim Spiel mit 2 Kugeln mehrere Versuche überlebt.

Mathematisch gesehen sind Risikoereignisse Kombinationen von systematischen Kausalbeziehungen (bzw. zyklischen Prozessen) und Zufallsergebnissen. Der Zufall drückt sich in 2 Dimensionen aus: zum einen in den Wahrscheinlichkeiten für ein bestimmtes Ereignis (Unsicherheit 1. Ordnung), zum anderen in der Streuung der Schadensereignisse bei gegebenen Wahrscheinlichkeiten (Unsicherheit 2. Ordnung: Abschätzungssicherheit).

Gefahr und Risiko

Die Bedeutung von zufälligen Schwankungen macht auch die Schwierigkeit aus, einen objektiven Risikobegriff zu definieren (Evers und Novotny, 1987; Bradbury, 1989; Shrader-Frechette, 1991; Krohn und Krücken, 1993; Banse, 1996). Den Tatbestand einer objektiven Bedrohung durch ein zukünftiges Schadensereignis bezeichnet man in der Regel als *Gefahr* (Scherzberg, 1993). Die Menschen sind andauernd Gefahren ausgesetzt, die sie gar nicht oder nur z. T. kennen. Wenn Gefahren erkannt und charakterisiert worden sind, spricht Luhmann (1993) von Risiken. Sie dienen als mentale Konstrukte, um Gefahren näher zu bestimmen und nach dem Grad der Bedrohung, also nach Schwere und Häufigkeit des Schadens, zu ordnen oder sogar zu quantifizieren. Wegen der Ungewißheit über künftige Ereignisse sind Risikoabschätzungen aber immer nur Annäherungen an die objektive Gefahr, die man nur nach dem Schadensereignis sicher wissen kann. Denn es gibt keine Möglichkeit, eine Risikoabschätzung zum Zeitpunkt der Prognose eindeutig als falsch zu entlarven (Rowe, 1984). Selbst wenn beispielsweise in den nächsten 10 Jahren 2 Kernkraftwerke einen GAU (größter anzunehmender Unfall) erleben sollten, heißt das noch lange nicht, daß die Ergebnisse der gängigen Risikoabschätzungen für Kernkraftwerke (im Schnitt ein GAU alle 100.000 Jahre) falsch seien. Ebenso wenig muß ein Roulettetisch gezinkt sein, wenn eine Person 3mal hintereinander auf die richtige Zahl setzt. Die Eintrittswahrscheinlichkeit sagt nur aus, daß bei Betrachtung eines sehr großen Zeitraums ein Ereignis unter konstanten Rahmenbedingungen mit einer bestimmten relativen Häufigkeit zu erwarten ist.

Die Einengung des Risikobegriffs auf die relative Häufigkeit von unerwünschten Ereignissen ist der Versuch, auf der Basis von Erfahrungen aus der Vergangenheit und der Modellierung der Zukunft begrenzte Prognosen über zukünftige Ereignisse zu erstellen. Dabei wird v. a. auf die 2 Risikokomponenten Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß zurückgegriffen, während andere risikorelevante Aspekte ausgeblendet werden. Aus diesem Grund vermeiden viele Theoretiker der Risikoanalyse die Begriffe „wahres“ oder „objektives“ Risiko, weil es sich bei Risiko grundsätzlich um ein mentales Konstrukt zur Erfassung komplexer Wirkungsketten mit Zufallsereignissen handelt, die keine direkte Entsprechung in der Wirklichkeit haben (Shrader-Frechette, 1991; Rayner, 1993; Rohrman, 1995a; Kunreuther und Slovic, 1996).

Wenn der Beirat dennoch von dem Begriff des *objektiven Risikos* ausgeht, dann ist damit ein Idealtyp gemeint, dessen inhaltliche Füllung sich erst *ex post*, also nach Ende der Lebensdauer einer Risikoquelle

oder bei Naturereignissen erst am Ende der Erdgeschichte, als Verteilungsmuster von Schadensereignissen über eine Menge von Individuen oder über die Zeit herauskristallisiert. Das objektive Risiko ist also eine ideale Größe, die man als relative Häufigkeit erkennbarer Verteilungsmuster von Schadensereignissen in Rückschau auf die gesamte Zeitspanne, in dem das Ereignis überhaupt eintreten kann, definieren kann. Das abgeschätzte Risiko und das objektive Risiko liegen um so enger beieinander,

- je genauer das betrachtete System in seinen Kausalzusammenhängen oder Tendenzen verstanden ist,
- je mehr über die relativen Häufigkeiten bekannt ist,
- je geringer der Systemwandel ist, d. h. je weniger man Änderungen der kausalen Beziehungen in Zukunft erwartet.

Risikoanalyse

Auf der Basis dieser Überlegungen können weitere terminologische Klärungen vorgenommen werden. So ist die *Risikoanalyse* der Versuch, mit wissenschaftlichen Methoden möglichst realitätsgetreu die Eintrittswahrscheinlichkeiten von konkreten Schadensfällen oder die Wahrscheinlichkeitsfunktion von Schadensausmaßen auf der Basis von Beobachtung, Modellierung und Szenariobildung qualitativ und so weit wie möglich quantitativ zu bestimmen (NRC, 1982; Krewski und Birkwood, 1987; EC, 1993; IAEA, 1995; Kolluru, 1995). Mit Hilfe von Risikoanalysen wird versucht, möglichst objektiv den Erwartungswert eines Risikos, d. h. das erwartete Schadensausmaß, gemittelt über die Zeit oder über Risikoobjekte (etwa Individuen), zu bestimmen. Im denkbar einfachsten Fall kann der statistische Erwartungswert in die Zukunft extrapoliert werden, sofern der Risikoauslöser sich nicht über die Zeit verändert (etwa der biologische Halbwertszeitraum) und keine relevante gesellschaftliche Intervention stattfindet (Häfele et al., 1990). Wenn im vergangenen Jahr im Straßenverkehr X Menschen ums Leben gekommen sind, dann werden es bei nahezu gleichen Bedingungen im kommenden Jahr ungefähr ebenso viele sein. Handelt es sich um komplexere Phänomene oder fehlen die Erfahrungswerte aus der Vergangenheit, so müssen Wahrscheinlichkeiten modelliert oder synthetisiert werden. Die technisch-wissenschaftliche Risikoperspektive schätzt also gefahrenauslösende Momente und deren Einflüsse auf Umwelt und Gesundheit ab, indem sie potentielle Auswirkungen und Effekte modelliert.

Die Ergebnisse einer Risikoanalyse sind im engeren Sinn nicht oder zumindest nicht abschließend falsifizierbar (Marcus, 1988). Unter der Bedingung, daß sich die Risikoabschätzung auf überschaubare

Zeiträume bezieht und quantitative Konfidenzintervalle umfaßt, können Ereignisse, die wiederholt außerhalb dieser Konfidenzintervalle liegen, allerdings als Indikator für eine mangelhafte oder fehlerhafte Analyse dienen. Solche Ereignisse können auch mit dem Computer simuliert werden, so daß die Schadensereignisse nicht real eintreten müssen. Es wird aber niemals möglich sein, einzelne Ereignisse aufgrund einer Risikoanalyse vorherzusagen, noch kann man die Güte einer Abschätzung aufgrund eines Einzelereignisses beurteilen. Die naturgegebene Ungewißheit von Risikoaussagen und die Schwierigkeiten bei einer objektiven Bewertung ihrer Aussagekraft sind mit dafür verantwortlich, daß Risiken in modernen wissensbezogenen Gesellschaften für erheblichen Zündstoff in der Technologie- und Umweltpolitik sorgen, zumal die Möglichkeiten moderner Technik zu einer als oft beängstigend empfundenen Eingriffstiefe des Menschen in natürliche Prozesse und in die Gestaltung der Anthroposphäre geführt haben (von Gleich, 1997; Japp, 1992; Krücken, 1997).

1.3

Das intuitive Verständnis von Risiken

Von der Risikoanalyse ist die *Risikowahrnehmung* zu unterscheiden. Manche Autoren gehen aufgrund des hypothetischen Charakters von Wahrscheinlichkeitsaussagen so weit zu sagen, daß jede Risikoaussage nichts weiter sei als eine mehr oder weniger systematisch aufgebaute Intuition über zukünftige Ereignisse (Rayner, 1984; Wynne, 1992). Die Nivellierung zwischen Risikoabschätzung auf der Basis wissenschaftlicher Methoden und der intuitiven Wahrnehmung von Risiken hält der Beirat allerdings für wenig hilfreich, selbst wenn die Grenze zwischen Risikoanalyse und gesellschaftlicher Risikowahrnehmung fließend ist. Gerade weil Risiken in großem Maß das Wohlergehen ganzer Gesellschaften bedrohen können, ist es Aufgabe der Wissenschaft und anderer Wissensträger, so genau wie nur möglich Risikoabschätzungen vorzunehmen. Mittlerweile wurde eine Reihe von Methoden und Techniken entwickelt, um die Verknüpfung von Ursache-Wirkungs-Mustern mit Zufallseinflüssen so zu modellieren, daß die Vorhersagegenauigkeit von relativen Häufigkeiten möglicher Schadensfälle zugenommen hat. Es bleibt weiterhin Aufgabe der Wissenschaftler, laufend Methoden und Techniken, die den zu prognostizierenden Ereignissen angemessen sind, zu entwickeln und zu verbessern, um so eine genauere Risikoabschätzung zu ermöglichen.

Die Risikowahrnehmung braucht sich dagegen nicht an den stringenten Kriterien der methodisch

ausgerichteten Risikoanalyse auszurichten. Risikowahrnehmung beruht weitgehend auf persönlichen Erfahrungen, vermittelten Informationen (etwa über die Medien) und intuitiven Einschätzungen, die sich im Verlauf der biologischen und später der kulturellen Evolution herausgebildet haben (Kap. E 2.2). Wie durch Studien zur intuitiven Risikowahrnehmung herausgefunden wurde, verbinden Menschen mit Risiken nicht nur physische Schäden, sondern auch Beeinträchtigungen sozialer und kultureller Werte (Fischhoff et al., 1978; Covello, 1983; Slovic, 1987; Brehmer, 1987; Gould et al., 1988; Renn, 1989; Drott-Sjöberg, 1991; Pidgeon et al., 1992; Jungermann und Slovic, 1993b; Rohrman, 1995b). Das naturwissenschaftlich-technische Risikokonzept hat diese Risikodimensionen weitgehend ausgeklammert und beschränkt sich im wesentlichen auf Sach-, Gesundheits- und Umweltschäden. Erst die psychologische und sozialwissenschaftliche Risikoforschung hat die Grundlage dafür geschaffen, daß auch die gesellschaftliche Risikoerfahrung hinreichend erfaßt und weitgehend erklärt werden konnte. Neben der Betonung nicht-physischer Risikodimensionen erbrachte die Wahrnehmungsforschung auch den Nachweis, daß Menschen bei der Bewertung von Risiken neben Wahrscheinlichkeit und Schadensausmaß eine Reihe von kontextbedingten Risikoeigenschaften zugrundelegen. Auf der Basis der Kenntnis nicht-physischer Dimensionen und kontextbedingter Risikoeigenschaften kann man beispielsweise nachvollziehen, warum die Öffentlichkeit auf eine potentielle Ölverschmutzung von wenigen 1.000 l (durch die geplante Versenkung der Brent Spar) mit einem Boykott von Shell reagiert, während das achtlose Abpumpen von Öl aus Schiffen die Meere jährlich mit ca. 10 Mio. t Öl belastet, ohne daß es zu einer ähnlichen Reaktion kommt (Löfstedt und Renn, 1997). Was eine Gesellschaft als Risiko aufgreift oder wahrzunehmen vorgibt, steht deshalb nicht unbedingt im unmittelbaren Zusammenhang mit der Höhe des Risikos, definiert durch die beiden Komponenten Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß.

Die Beschäftigung mit der Risikowahrnehmung ist auch im Sinn einer vorausschauenden und rational verfaßten Risikopolitik aus mehreren Gründen sehr wichtig. Zum einen richten Menschen ihr Verhalten nach ihrer Wahrnehmung und nicht nach wissenschaftlichen Risikomodellen aus. Die Wahrnehmung des Risikos ist aber nicht unabhängig vom „objektiven“ Risiko. Auf Dauer werden sich nur die Risikowahrnehmungen durchsetzen, die sich mit der Erfahrung von realen Schäden decken. Allerdings können in seltenen Fällen auch eingebilddete Risiken genau die Symptome hervorrufen, die von den Schadenspotentialen der jeweiligen Risikoquellen im Prinzip hervorgerufen werden. Psychosomatische

Reaktionen sind nicht selten Folgeerscheinungen von Risikowahrnehmungen (Aurand und Hazard, 1992).

Zum zweiten nehmen Menschen neben den beiden Größen Ausmaß und Wahrscheinlichkeit andere Risikoeigenschaften auf, die nicht nur ihre persönlichen Präferenzen widerspiegeln, sondern auch unter normativen Gesichtspunkten in eine rationale Risikopolitik einmünden sollten (Renn, 1998). Ob eine Schadensmöglichkeit irreversibel ist oder nicht, ob sich ein potentieller Schaden noch auf andere Menschen oder auf kommende Generationen auswirken kann, sind Dimensionen, die in klassischen Risikoabschätzungen meist ausgeklammert werden (Kap. C 3).

Zum dritten sind die meisten Menschen nicht indifferent gegenüber Verteilungsmustern von Schäden über Zeit und Raum. Die Risikoabschätzung geht definitionsgemäß von relativen Häufigkeiten aus, wodurch zwangsläufig eine Mittelung über Raum und Zeit erfolgt. Ob aber eine Risikoquelle 1.000 Menschen auf einen Schlag oder 1.000 Menschen kontinuierlich über einen bestimmten Zeitraum schädigt, ist in der Wahrnehmung der meisten Menschen keineswegs das gleiche (Jungermann und Slovic, 1993b). Auch normativ mag es sinnvoll sein, Verteilungsmuster als eigenständige Bewertungsgröße in die Analyse mit aufzunehmen, da punktuelle Schäden häufig mehr Mittel zur Kompensation erfordern als kontinuierlich anfallende Schäden. Darüber hinaus verbinden Menschen mit Verteilungsmustern auch Konzepte der sozialen Gerechtigkeit. Eine asymmetrische Verteilung von Nutzen und Risiken bedarf in den meisten Kulturen einer besonderen gesellschaftlichen Rechtfertigung. Ob ein Risiko als fair oder zumutbar gilt, richtet sich weniger an der Größe des Risikos als an einem individuellen oder kulturellen Maßstab der Gerechtigkeit. Zu diesem Punkt machen klassische Risikoabschätzungen keine Aussagen.

1.4

Folgerungen für die Risikobewertung

Der Begriff der *Risikobewertung* bezeichnet Verfahren, wie ein bestehendes Risiko hinsichtlich Akzeptabilität und Zumutbarkeit für die Gesellschaft als Ganzes oder für Gruppen der Gesellschaft zu beurteilen ist. Dabei hält es der Beirat für notwendig, die wissenschaftlichen Abschätzungen gemeinsam mit den durch empirische Studien erfaßten Risikowahrnehmungen als Informationsbasis für eine rationale Abwägung heranzuziehen (Fiorino, 1989). Beide Typen von Informationen sind wichtige Bestandteile der *Risikobewertung*. Im einzelnen sollte die Risiko-

bewertung folgende Grundsätze beachten (Shubik, 1991; Banse, 1996; Fischhoff, 1996):

- Technisch-naturwissenschaftliche Risikoanalysen sind hilfreiche und notwendige Instrumente einer rationalen Risikopolitik. Nur mit ihrer Hilfe lassen sich relative Risiken miteinander vergleichen und Optionen mit dem geringsten Erwartungswert von Schäden auswählen. Sie können und dürfen jedoch nicht als alleinige Richtschnur für die Bewertung von und den Umgang mit Risiken dienen. Ihre Universalität wird nämlich mit einer Abstraktion vom Kontext und einer Ausblendung der auch unter rationalen Gesichtspunkten sinnvollen Risikomerkmale aus den Wahrnehmungsmustern erkaufte. Kontext- und situationsspezifische Begleitumstände müssen bei jeder Risikoanalyse mit berücksichtigt werden.
- Riskoeigenschaften sind wesentliche Merkmale der Risikowahrnehmung. Diese Wahrnehmungsmuster sind keine beliebig manipulierbaren, irrational zusammengesetzten Vorstellungen, sondern in der menschlichen Evolution gewachsene und im Alltag bewährte Konzepte, die zwar überformt, aber nicht prinzipiell ausgelöscht werden können. Ihr universeller Charakter ermöglicht eine gemeinsame Orientierung gegenüber Risiken und schafft eine Basis für Kommunikation. Der Reichtum, der diesen Wahrnehmungsprozessen zugrundeliegt, kann und soll auch in der Risikobewertung Verwendung finden.
- Unter rationalen Gesichtspunkten erscheint es durchaus erstrebenswert, die verschiedenen Dimensionen des intuitiven Risikoverständnisses systematisch zu erfassen und auf diesen Dimensionen die jeweils empirisch gegebenen Ausprägungen zu messen. Wie stark verschiedene technische Optionen Risiken unterschiedlich auf Bevölkerungsgruppen verteilen, in welchem Maße institutionelle Kontrollmöglichkeiten bestehen und inwieweit Risiken durch freiwillige Vereinbarungen übernommen werden, läßt sich im Prinzip durch entsprechende Forschungsinstrumente messen. Wichtig ist v. a., daß diese Faktoren bei der politischen Bewertung von Risiken berücksichtigt werden. Der Beirat vertritt die Auffassung, daß die Dimensionen der intuitiven Risikoerfassung legitime Elemente einer rationalen Bewertung sein müssen, die Abschätzung der unterschiedlichen Risikoquellen auf jeder Dimension aber nach wissenschaftlichen Kriterien der Gültigkeit und Zuverlässigkeit erfolgen muß.
- Risikowahrnehmung kann aber kein Ersatz für einen rationalen Umgang mit Risiken sein. Ebenso wie technisch-naturwissenschaftliche Risikoanalysen nicht zur alleinigen Grundlage von Entscheidungen gemacht werden dürfen, sollte man

auch nicht die faktische Bewertung von Risiken zum alleinigen politischen Maßstab ihrer Akzeptabilität machen. Wenn bekannt ist, daß bestimmte Risiken, wie etwa das Passivrauchen, zu schweren Erkrankungen führen können, dann ist dieses Risiko nicht akzeptabel, auch wenn in der Bevölkerung mangelndes Problembewußtsein herrscht. Viele Risiken werden verdrängt, weil man sich mit ihnen nicht beschäftigen will. Dies gilt v. a. für Risiken, deren Schaden erst in ferner Zukunft eintreten kann. Sich von verdrängten oder offenkundig falschen Vorstellungen leiten zu lassen, kann kaum eine Rechtfertigung für die Festlegung eines sinnvollen Umgangs mit Risiken sein. Die Kenntnis dieser Wahrnehmungsmuster kann jedoch zur Gestaltung und Ausführung von Informations- und Bildungsprogrammen nutzbringend angewandt werden. Viele Menschen haben Schwierigkeiten, Wahrscheinlichkeitsaussagen zu verstehen (Kahneman und Tversky, 1974) oder die Riskantheit langfristig vertrauter Risikoquellen zu erkennen (Ross, 1977). Hier können gezielte Bildungs- und Informationsprogramme anknüpfen (Jungermann, 1991). Der Beirat befürwortet aus diesem Grund eine gegenseitige Ergänzung von technisch-naturwissenschaftlicher Risikoanalyse und intuitiver Risikowahrnehmung.

- Selbst wenn man die besten wissenschaftlichen Erkenntnisse für alle Dimensionen, die Menschen als relevant erachten, gesammelt hätte (was in der Realität kaum möglich ist), ist damit die Entscheidung über technische Optionen noch lange nicht vorprogrammiert. Denn Abwägungen zwischen Optionen setzen immer normative Gewichtungen zwischen den unterschiedlichen Zieldimensionen voraus (Derby und Keeney, 1981). Solche Abwägungen sind einerseits abhängig vom Kontext, andererseits von der Wahl der Dimensionen. Bei der Wahl der Dimensionen kann uns die Wahrnehmungsforschung bereits wichtige Anregungen vermitteln. Bei der Abwägung und der relativen Gewichtung der Dimensionen spielt zudem das Kriterium der fairen Verteilung von Risiken und Nutzen eine bedeutende Rolle (MacLean, 1986). Es ist nicht mehr die Aufgabe der Wissenschaft, solche Abwägungen zu treffen, sondern sie soll die Informationen und z. T. auch die Verfahren bereitstellen, um die politisch legitimierten Entscheidungsträger oder die betroffenen Personen in die Lage zu versetzen, zu einer präferenz- und sachgerechten Urteilsbildung zu kommen (Shrader-Frechette, 1991; Krücken, 1997). Bei dieser Urteilsbildung können und sollen natürlich die Experten aktiv mitwirken.

Wenn es auch klare Regeln für die Messung und Behandlung stochastischer Phänomene gibt, so liegt es

in der Natur der Wahrscheinlichkeitsaussagen, daß sich daraus sehr unterschiedliche, sogar diametral entgegengesetzte Handlungsanweisungen ergeben können. Der Beirat zieht aus all diesen Überlegungen den Schluß, daß eine eindeutige wissenschaftliche Ableitung für den Umgang mit Risiken nicht möglich ist.

1.5

Kriterien rationaler Risikobewertung

Die Frage nach der Akzeptabilität des Risikos läßt sich, wie oben angeführt, nicht eindeutig lösen (Ambivalenz) und sorgt damit für große politische Sprengkraft, denn die Entscheidungstheorie kann keine rational eindeutige Lösung vorgeben, wie man bei einer Vielzahl von Handlungsoptionen mit unterschiedlichen Risiken entscheiden sollte (Fischhoff et al., 1985): Je nach Risikopräferenz fällt das Urteil anders aus.

Menschen verhalten sich in unterschiedlichem Maß risikoaversiv (Erdmann und Wiedemann, 1995). Der Hazardeur ist auf die Folgen fixiert, die ihm den größten Gewinn versprechen, selbst wenn die Wahrscheinlichkeit für deren Eintreten gering ist. Ängstliche Naturen starren wie gebannt auf die Folgen, die besonders große Verluste mit sich bringen können, auch wenn deren Eintreffen höchst unwahrscheinlich ist. Kühle Rechner werden die Wahrscheinlichkeiten mit den Verlust- und Gewinnzahlen multiplizieren und diejenige Option auswählen, die ihnen den größten Erwartungsnutzen versprechen. Alle 3 Charaktere können gute Gründe für ihr Verhalten anführen und niemand kann ihnen das Recht streitig machen, jeweils unterschiedliche Risikopräferenzen zu haben.

Allein aus der Tatsache heraus, daß Menschen unterschiedliche Strategien zum Umgang mit Risiken besitzen, läßt sich die grundlegende Schlußfolgerung ziehen, daß eine rationale Risikopolitik den einzelnen Akteuren die Freiheit geben sollte, für Risiken, die sie selbst eingehen und deren Folgen sie selbst tragen müssen, das Management selbst zu übernehmen (Sopolski, 1990). Wer gerne riskante Sportarten treibt oder sich durch übermäßigen Genuß von Alkohol oder Nikotin selbst schädigt, sollte für die Folgen dieses Verhaltens selbst Verantwortung übernehmen und den Umgang mit diesen Risiken nach eigenen Präferenzen steuern dürfen. Voraussetzung dafür ist, daß der mit diesem Verhalten verbundene Schaden für die Gesellschaft (etwa die Kosten für Rettungsdienste oder Krankenpflege) durch eine Versicherung oder andere Haftungssysteme abgedeckt ist. Mit dieser marktgerechten Regelung wird die Wahl des richtigen Risikomanagements auf den

übertragen, der dann auch die Folgekosten der Risikowahl zu übernehmen hat. Von dieser „eleganten“ Lösung des Entscheidungsproblems unter Ungewißheit wird in unserer Gesellschaft nur dann Abstand genommen, wenn den Individuen die Mündigkeit zur freien Wahl der Managementmöglichkeiten fehlt oder nach gängiger Auffassung zu fehlen scheint (Abhängigkeit durch Rauschmittel, Jugendschutz usw.). Problematischer und weniger elegant lösbar sind Situationen, bei denen das individuelle Risikoverhalten der einen Person Risiken für andere Personen umfaßt (externe Effekte) oder Risiken mit kollektiven Gütern verbunden sind. In diesem Fall muß der Staat entweder durch Vorschriften bestimmte Umgangsregeln durchsetzen (etwa durch Umweltstandards oder Genehmigungsverfahren) oder aber durch Haftungsregeln die Folgekosten auf diejenigen überwälzen, die durch ihr Verhalten Risiken auf andere überwälzt haben. In beiden Fällen ist dann aber eine Richtungsentscheidung im Hinblick auf die kollektive Auflösung des Entscheidungs dilemmas unter Ungewißheit notwendig (im Fall des Ordnungsrechts zur direkten Einleitung von risikoreduzierenden Maßnahmen, im Fall des Haftungsrechts zur indirekten Festlegung der erforderlichen Kompensationszahlungen). Wie sollte eine Gesellschaft, wenn es um kollektive Risiken geht, über die prinzipielle Vorgehensweise bei ungewissen Folgen entscheiden? Welche Strategie sollte eine Gesellschaft wählen, wenn die Folgen riskanter Handlungen viele Menschen mit unterschiedlichen Präferenzen betreffen?

Strategien zum Risikomanagement

Philosophen und Entscheidungstheoretiker sind an dieser Stelle zu recht unterschiedlichen Schlußfolgerungen gekommen (Shrader-Frechette, 1991; Leist und Schaber, 1995). Der Philosoph Hans Jonas war klar im Lager der Vorsichtigen. Sein Minimaxprinzip lautet: „Minimiere den maximal erwartbaren Schaden“. Das Problem mit dieser Lösung besteht darin, daß es mit etwas Phantasie zu jeder Risikoquelle ein mögliches, wenn auch im Einzelfall wenig wahrscheinliches Katastrophenszenario gibt, sofern die Technik nur einen nennenswerten Marktanteil erreicht hat (Jonas, 1979, 1990). Die Gesellschaft wäre folglich zur Immobilität und zur Chancenlosigkeit verurteilt. Weniger apodiktisch argumentierte John Rawls (1971, 1974). Seine Lösung des Problems richtete sich nach den subjektiven Erwartungen unterschiedlicher Gruppen: „Wähle die Variante aus, bei der auch die von der Entscheidung am meisten Benachteiligten in einer Gesellschaft zustimmen können“. Bewußt klammerte Rawls auch die Möglichkeit einer Kompensation der Benachteiligten in sein Kalkül ein, so daß die ökonomische Rationalität des

Pareto-kriteriums, nach dem jedes Individuum nach einer Entscheidung mindestens ebenso gut dastehen muß wie vor der Entscheidung, gewahrt bleibt. Ebenso wie Jonas hatte auch Rawls die denkbar negativen Auswirkungen im Auge, er betrachtet sie jedoch mit der Brille der Betroffenen.

Die meisten Entscheidungstheoretiker sind dagegen im Lager der kühlen Rechner. Ward Edwards, der Entwickler der multiattributiven Entscheidungsanalyse, argumentierte mit der Mittelstellung dieser Auffassung (Edwards, 1954). Wenn es in einer Gesellschaft offenkundig risikoaversive und risikofreudige Personen gibt, dann sollte sich die Gesellschaft neutral verhalten und die jeweiligen Erwartungswerte als Orientierungsmarken wählen. Damit würde man beiden Seiten, den Risikofreudigen und Risikoaversiven in gleicher Weise gerecht. Einen goldenen Mittelweg verspricht die Arrow-Hurwicz-Regel (1971). Sie lautet: „Wähle diejenige Handlungsoption, die in der Kombination von bestmöglichen und schlechtestmöglichen Folgen die höchsten Werte aufweist“. Andere wiederum vertreten die Auffassung, daß die Gesellschaft die Pflicht habe, negative Folgen, die mit einer sehr hohen Wahrscheinlichkeit eintreffen werden, und Katastrophen, die mit einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit eintreffen werden, jeweils negativer zu bewerten als die Fälle dazwischen (Derby und Keeney, 1981). „Vorsicht bei den Extremen“ – so könnte man diese Devise interpretieren.

Die Kontroverse um die ethisch gebotene Auflösung von Ungewißheit zeigt, daß selbst bei identischen Wertorientierungen – also einem Konsens über Wünschbarkeiten – die Lösung für einen kollektiven Umgang mit Ungewißheit nicht eindeutig bestimmbar ist. Das Denken in Risiken zwingt die Menschen, mit der legitimen Vielfalt von Lösungen zu leben. Weder der eine noch der andere hat Recht. Es gibt keinen hinreichenden, intersubjektiv zwingenden Grund, sich für eine risikoaversive oder eine risiko-neutrale Entscheidungslogik zu entscheiden. Beides ist möglich und mit guten Gründen zu belegen. Diese Ambivalenz beruht also auf normativen Festlegungen, wie ein Individuum oder eine Gruppe mit einem Risiko umgehen wollen und welche Präferenzen (risikofreudig, -aversiv oder -neutral) vorherrschen (Renn, 1996).

Diese Ambivalenz, die sich aus der Entscheidungslogik ergibt, gewinnt natürlich noch dadurch an Schärfe, daß die Annahme identischer Wertorientierungen und Interessen in einer pluralistischen Gesellschaft völlig realitätsfremd ist. Natürlich werden einzelne Gruppen die jeweiligen Folgen unterschiedlich bewerten, je nachdem wie stark sie betroffen sind und welche Folgen sie hoch oder gering einschätzen. Umweltschützer werden besonderes Gewicht auf die Umwelt, Unternehmer auf die Wettbe-

werbsfähigkeit legen. Wenn auch beide Ziele miteinander zusammenhängen, so kann niemand *ex cathedra* behaupten, der eine habe mehr Recht auf seine Gewichtungen als der andere.

Ähnlich wie bei der Frage nach der objektiven Risikoerfassung sind auch die Risikobewertung und die sich daraus ergebende Wahl der Instrumente zur Risikosteuerung bei aller Notwendigkeit subjektiver Gewichtung keineswegs beliebig. Je nachdem welche Vorlieben und Ziele vorgegeben werden, kann man die Akzeptabilität von Risiken konsistent ableiten. Die Diskussion um die Ambivalenz der Risikobewertung hat in der Öffentlichkeit häufig den Eindruck von mangelnder Kompetenz der Risikoexperten und daraus folgend von einer Risikopolitik nach vordergründigen Interessen hinterlassen (Brown und Goble, 1990). Dieser Eindruck einer politischen Beliebigkeit hat das öffentliche Klima z. T. vergiftet und zu einem Glaubwürdigkeitsverlust von Wissenschaft und Politik beigetragen. Der Beirat legt hier Wert auf die Feststellung, daß die mit Hilfe der Wissenschaft abgeschätzten Risiken bei aller Unsicherheit und Ambivalenz ebenso wie die nach entscheidungsanalytischen Grundsätzen getroffene Bewertung eine handlungsleitende Funktion haben, die weder durch Intuition noch durch faktische Akzeptanz noch durch politischen Instinkt oder interessengebundene Bewertung ersetzt werden kann. Aus diesem Grund empfiehlt der Beirat, bei der Auswahl der geeigneten Regulierungsinstrumente die wissenschaftlich abgeschätzten Abschätzungen der jeweiligen Risiken zugrunde zu legen und darauf aufbauend eine stringente und konsistente Bewertung vorzunehmen.

Normal-, Grenz- und Verbotsbereich von Risiken

Als Hilfestellung für eine praktikable Risikobewertung und als Anleitung für ein rational begründbares Risikomanagement unterscheidet der Beirat 3 Kategorien von Risiken: den „Normalbereich“, den „Grenzbereich“ und den „Verbotbereich“. Der *Normalbereich* zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

- geringe Ungewißheit in Bezug auf die Eintrittswahrscheinlichkeit und das Schadensausmaß,
- insgesamt eher geringes Schadenspotential,
- insgesamt geringe bis mittlere Eintrittswahrscheinlichkeit,
- geringe Persistenz und Ubiquität der Risikoverursacher oder -folgen,
- hohe Reversibilität der Risikofolgen, sollte der Schaden eintreten,
- geringe statistische Schwankungsbreiten von Schadenspotential und Eintrittswahrscheinlichkeiten,

- keine deutlichen Verzerrungen zwischen der Gruppe der Risikoträger und der Gruppe der Chancen- bzw. Nutzengewinner (Verteilungsgerechtigkeit).

In diesem Fall entspricht dann auch das objektive Risikoausmaß nahezu der wissenschaftlichen Risikoabschätzung. Für Risiken, die sich im Normalbereich bewegen, folgt der Beirat der Empfehlung der überwiegenden Anzahl der Entscheidungstheoretiker, für kollektiv verbindliche Entscheidungen von einer neutralen Risikoeinstellung auszugehen. In diesem Fall ist eine multiplikative Gewichtung von Ausmaß und Wahrscheinlichkeit unter Einbeziehung der jeweiligen Varianzen sinnvoll und angemessen. Diese Vorgehensweise erlaubt auch eine effektive und innovationsfördernde Politik zur Wahrnehmung von Chancen, da sowohl Risiken als auch Chancen mit dem gleichen Algorithmus (Erwartungswert) berechnet werden können (Kap. F). Auch sichere Ereignisse, gleichgültig ob positiv oder negativ, können in einer solchen Abwägung problemlos mit einer Gewichtung von eins einbezogen werden. Diese Vorgehensweise wird als Maximierung des Erwartungsnutzens (Eintrittswahrscheinlichkeit multipliziert mit nach Nutzen bewerteten Folgen) bezeichnet und fügt sich nahtlos in die klassische Kosten-Nutzen- oder Nutzwertanalyse ein (Merkhofer, 1984).

Problematischer ist der Fall, in dem die Risiken Bereiche berühren, die über das alltägliche Ausmaß hinausgehen (Abb. C 1.5-2). In diesem Fall werden entweder der „Grenz-“ oder der „Verbotsbereich“ berührt. Beide Bereiche sind dadurch gekennzeichnet, daß die Abschätzungssicherheit gering ist, das Schadenspotential bedrohliche Ausmaße annehmen kann oder die Anteile von systematischem Folgenwissen und Zufallsschwankungen kaum bekannt oder nicht bestimmbar sind. Kritisch wird es auch dann, wenn die Risiken globale, irreversible Schäden hervorrufen, sich über lange Zeit akkumulieren oder in besonderer Weise die Bevölkerung mobilisieren oder ängstigen. Zusammengefaßt zeichnen sich Risiken im Grenz- oder Verbotsbereich durch folgende Eigenschaften aus:

- Die Ungewißheit ist bei allen Risikoparametern hoch,
- das Schadenspotential ist hoch,
- die Eintrittswahrscheinlichkeit ist hoch und tendiert gegen 1 (dieser Fall ist, sofern keine der anderen Bedingungen gegeben ist, global wenig relevant),
- die Abschätzungssicherheit ist gering, es liegt aber ein begründeter Verdacht vor, daß große Schäden möglich sind,
- Persistenz, Ubiquität und Irreversibilität sind in besonderem Maß gegeben, wobei auch hier ein begründeter Verdacht vorliegen muß, daß Schäden möglich sind,
- aus Gründen der wahrgenommenen Verteilungsgerechtigkeiten oder anderer sozialer und psychischer Faktoren ist mit einem hohen Mobilisierungspotential (Verweigerung, Protest, Widerstand) zu rechnen.

Ähnlich wie dies in vielen Ländern (z. B. Großbritannien, Dänemark, den Niederlanden und der Schweiz, Kasten C 1.5-1) bereits praktiziert wird, macht es Sinn, den kritischen Bereich in Grenz- und Verbotsbereich zu unterscheiden. Im Grenzbereich sind risikoreduzierende Maßnahmen erforderlich, deren Umsetzung eine Überführung in den Normalbereich verspricht. Im Verbotsbereich sind die Risiken so gravierend, daß in der Regel ein Verbot ausgesprochen werden sollte, es sei denn, es liegt ein gesellschaftlicher Konsens vor, diese Risiken wegen der damit verbundenen Chancen eingehen zu wollen.

Sowohl im Grenz- als auch im Verbotsbereich ist eine eindeutige Aussage zur Gültigkeit der wissenschaftlichen Risikoabschätzung selten möglich. Im Grenzbereich ist ein risikoaversives Verhalten durchaus angebracht, da dort oft die Grenzen menschlicher Erkenntnisfähigkeit erreicht sind. Aus diesem Grund geht es dann nicht mehr vorrangig um eine abwägende Risikoentscheidung, sondern häufig um eine Begrenzung der Möglichkeiten von weitreichenden negativen Überraschungen. Vorsorgeorientierte Strategien der Risikosteuerung, Formen der Gefährdungshaftung, allgemeine Vorsichtsregeln und Aspekte der Risikovermeidung haben dann Vorrang vor wirkungsbezogenen Optimierungsregeln. Dementsprechend fällt auch die Wahl der Instrumente unterschiedlich aus, je nachdem, welcher Bereich berührt ist. Gleichzeitig betont der Beirat, daß Risiken vielfach mit Chancen verbunden sind, es also nicht darauf ankommen kann, Risiken stets zu minimieren oder sogar zu vermeiden. Nur im Grenz- und Verbotsbereich der Risiken ist besondere Vorsicht bis hin zu einem Verbot angezeigt.

Sofern Risiken in den Normalbereich fallen, also keine besonders problematischen Bedingungen oder Begleitumstände vorliegen, empfiehlt der Beirat, daß die legitimierten Entscheidungsträger, wie Individuen, Unternehmen oder der Staat, eine bilanzierende Abwägung nach Maßgabe ihrer Risiko- und Chancenpräferenzen vornehmen. Dabei ist allerdings darauf zu achten, daß die Summe vieler zu bewertender Einzelrisiken, die alle nicht den Grenzbereich berühren, gemeinsam in den gefährlichen Grenzbereich hineingeraten kann. Das vorliegende Gutachten beschäftigt sich ausschließlich mit Risiken, die als Einzelrisiko oder als Risikoverbund in einen der in Kap. C 4 definierten Grenz- oder Verbotsbereich fallen. Zur Bewertung und zum Management von Nor-

Kasten C 1.5-1

Erfahrungen der Risikobewertung in der Schweiz

Im Rahmen eines Projektes der Akademie für Technikfolgenabschätzung zu rationalen Verfahren der Risikobewertung wurden u. a. Verfahren zur Bewertung von Risiken aus dem Ausland gesammelt (Petringa, 1997; Löfstedt, 1997; Hattis und Minkowitz, 1997; Beroggi et al., 1997; Hauptmanns, 1997; Poumadère und Mays, 1997). Dazu gehört auch eine Studie über die Lage in der Schweiz (von Piechowski, 1994). Seit dem 1. April 1991 schreibt die Störfallverordnung (StFV) den Umgang mit technischen Risiken in der Schweiz vor. Risiko wird darin als Verbindung von Schadensausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit festgelegt. Zur Verdeutlichung der Störfallverordnung wurden Handbücher erstellt,

die die Risikoermittlung konkretisieren und Verfahren zur Risikobewertung vorschlagen. Die Risikobewertung wird von 4 Schritten gekennzeichnet. Zuerst müssen Indikatoren identifiziert werden, anhand derer das zu einem Störfallszenario gehörende Schadensausmaß vorhergesagt und gemessen werden kann. Im 2. Schritt werden für die entsprechenden Störfallszenarien Eintrittswahrscheinlichkeiten bestimmt. Mit Hilfe eines Wahrscheinlichkeits-Ausmaß-Diagramms (*W-A-Diagramm*) erfolgt im nächsten Schritt die Festlegung des zu betrachtenden Ausschnitts (Abb. C 1.5-1). Die Grenze im unteren Bereich bildet dabei der Übergang zu geringen bzw. unbedeutenden Unfällen, die durch das Arbeitsgesetz geregelt werden. Die obere Grenze des unakzeptablen Bereichs bilden katastrophale Unfälle. Im 4. und letzten Schritt werden im politischen Entscheidungsprozeß jene Risikoakzeptanzbereiche bestimmt, in denen Risiken noch als tragbar gesehen werden bzw. als nicht annehmbar.

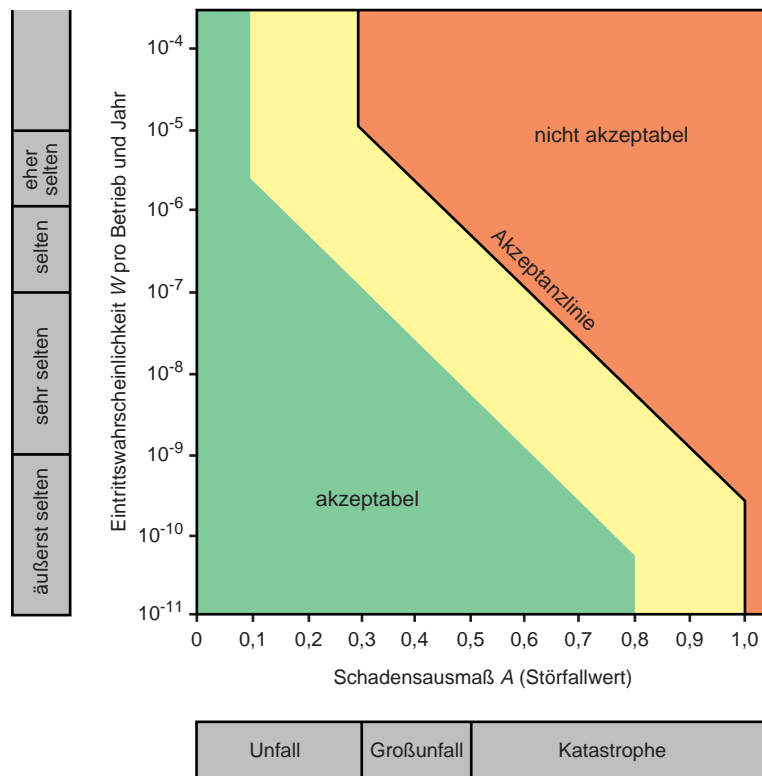


Abbildung C 1.5-1
 Akzeptanzbereiche des Risikos nach Anhang G des Handbuchs I zur Störfallverordnung in der Schweiz.
 Quelle: von Piechowski, 1994

malrisiken reichen die vorhandenen Steuerungsmechanismen nach Meinung des Beirats aus.

Nach Einordnung in einen der 3 Risikobereiche folgt das entsprechende Risikomanagement. Als *Risikomanagement* bezeichnet der Beirat die Summe der von Personen oder Organisationen eingeleiteten Maßnahmen zur Reduzierung, Steuerung und Regulierung von Risiken (Lowrance, 1976; Covello et al., 1984; Lave, 1985; Clarke, 1989; Morgan, 1990; Kolluru, 1995). Unter diesen Begriff fallen auch die Instrumente der Risikosteuerung, angefangen von den po-

litisch gesetzten Grenzwerten bis hin zu ökonomischen Anreizen, Haftungsregelungen, Planungstechniken und bildungsfördernden Maßnahmen (Kap. H). Im Normalbereich sind die Managementverfahren der Abwägung (Kosten-Nutzen, Risiko-Risiko usw.) zu wählen, im Verbotsbereich ist eine unbedingte Reduzierung von Wahrscheinlichkeit, Schadensausmaß oder anderer Risikoparameter erforderlich. Im Grenzbereich sind, wie in den nächsten Kapiteln ausgeführt, typenspezifische Managementpakete zu schnüren.

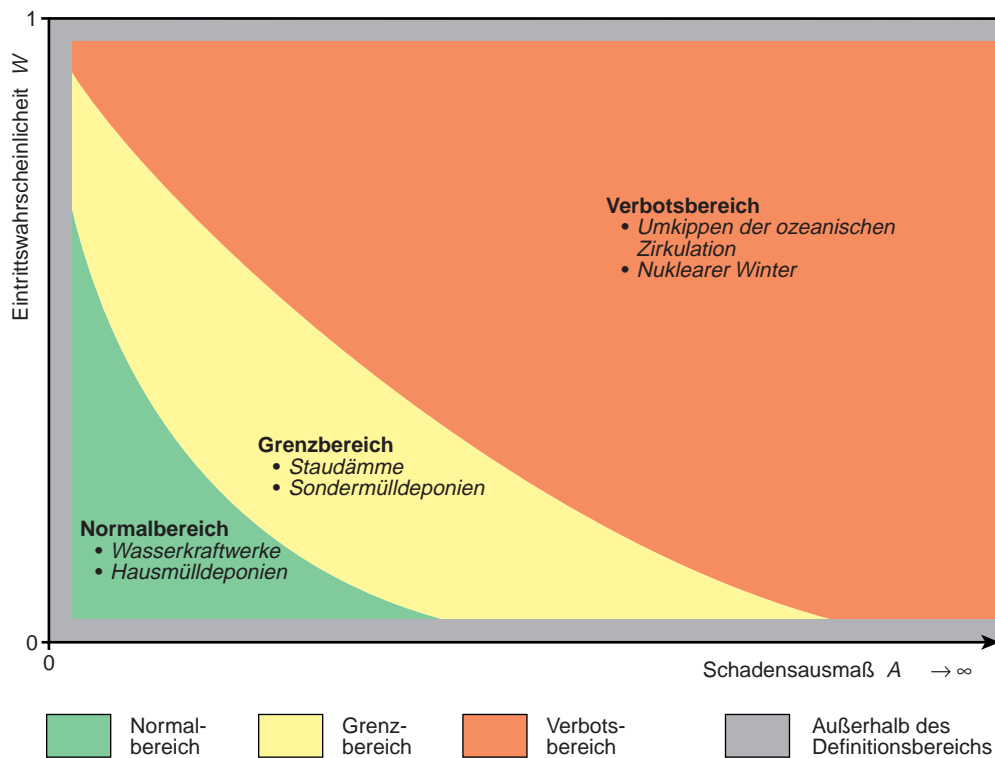


Abbildung C 1.5-2
Normal-, Grenz- und Verbotsbereich. Erklärungen im Text.
Quelle: WBGU

Risikokonzert des Beirats

Zusammenfassend unterscheidet der Beirat in seinem Risikokonzert 5 Elemente:

1. Ein ideales Verständnis von Risiko, das den objektiven Grad der Gefährdung widerspiegelt.
2. Eine naturwissenschaftlich-technische Risikoabschätzung, die auf der Basis von Beobachtung und Modellbildung eine möglichst genaue Kenntnis der relativen Häufigkeiten von Schadensereignissen gemittelt über Zeit und Raum anstrebt.
3. Eine allgemeine Risikowahrnehmung, die auf einer intuitiven Risikoerfassung und deren individueller oder gesellschaftlicher Bewertung beruht.
4. Eine intersubjektive Risikobewertung, die auf einem oder mehreren Verfahren der rationalen Urteilsfindung über ein Risiko in Bezug auf dessen Akzeptabilität bzw. Zumutbarkeit für die Gesellschaft als ganzes oder bestimmter Gruppen und Individuen beruht.
5. Ein ausgewogenes Risikomanagement, das die geeigneten und angemessenen Maßnahmen und Instrumente zur Reduzierung, Steuerung und Regulierung von Risiken je nach Risikotyp zusammenfaßt.

2.1 Schaden als Bewertungskategorie

Unter „Schaden“ versteht man zunächst die greifbare Zerstörung oder Beschädigung einer konkreten Sache. Die Begriffe „Körperschaden“, „seelischer Schaden“, „sittlicher Schaden“, „Zivilisations-“ und „Kulturschaden“ zeigen jedoch, daß dieser einfache Schadensbegriff über das sinnlich Wahrnehmbare hinaus erweitert werden kann, im Sinn einer Beeinträchtigung der Funktionen oder Leistungen von Leib und Seele oder von ethischen und kulturellen Werten. Trägt man die gemeinsamen Merkmale der abstrakteren Schadensbegriffe zusammen, so ergibt sich ein allgemeiner Schadensbegriff, der sich wie folgt definieren läßt: „Zerstörung, Minderung und Beeinträchtigung von – der Real- oder Idealsphäre angehörenden – konkreten oder abstrakten Werten“ (Berg et al., 1994).

Um einen Schaden als solchen erkennen zu können, braucht es immer das bewertende Subjekt. Der Schadensbegriff ist daher in seiner Bedeutung anthropozentrisch angelegt. Die geschädigten Objekte hingegen können auch außerhalb der Anthroposphäre liegen, also z. B. Tiere, die Umwelt oder Artefakte sein.

Die Naturwissenschaften definieren Schaden in der Regel als eine physisch meßbare Veränderung, die im allgemeinen gesellschaftlichen Konsens als nicht wünschenswert eingestuft wird (Renn, 1992). Auch hier ist der Mensch Bewerter des Schadens, aber die Schadenskategorien sind auf die Bereiche beschränkt, bei denen es physische Äquivalente der Bewertungsdimensionen gibt (etwa Gesundheits- oder Umweltschäden) und gleichzeitig eine hohe Übereinstimmung darüber herrscht, daß diese Veränderungen negativ zu beurteilen sind. Die Höhe des Schadens ist in dieser Sichtweise also direkt von Ausmaß und Qualität der physischen Veränderung abhängig.

In der Ökonomie, den Sozialwissenschaften und der Philosophie ist der Schadensbegriff wesentlich weiter aufgefächert. Berücksichtigt werden hier auch

die ökonomischen oder sozialen Bewertungen von physischen Veränderungen, zusätzlich auch nicht physisch meßbare, symbolische oder immaterielle Einbußen von dem, was gesellschaftlich als wünschenswert angesehen wird. Während die Ökonomie dabei auf den subjektiven Nutzenbegriff als gemeinsamen Nenner aller Schadenskategorien zurückgreift, ist in den übrigen Sozialwissenschaften neben dem Nutzen auch die Verletzung von Werten oder Glaubensvorstellungen von Bedeutung (Dake, 1991). Auch die Verteilung dieser Verletzungen auf unterschiedliche Gruppen in der Gesellschaft ist ein wesentlicher Gegenstand sozialwissenschaftlichen Interesses.

In der Psychologie werden Schäden meist als subjektiv wahrgenommene und mit den eigenen Werten und Interessen gewichtete Konsequenzen einer Handlung oder eines Ereignisses definiert (Berg et al., 1995). Die Substanz des Schadens ist vom Subjekt abhängig und umfaßt demnach sowohl materielle (physische) als auch immaterielle (symbolische) Veränderungen der Umwelt. Darüber hinaus wird auch die Bewertung dieser Veränderungen vom Subjekt vorgenommen; sie richtet sich nach

- den für die eigene Person als relevant angesehenen Werten (etwa Erhalt der eigenen Gesundheit),
- den von der Gesellschaft als relevant angesehenen Werten (etwa Erhalt der Versorgungssicherheit bei Energiesystemen),
- den eigenen Interessen (etwa materiellen Vorteilen),
- den Einstellungen zu den jeweiligen Verursachern und Betroffenen des Schadens,
- den Urteilen von relevanten Bezugsgruppen und den Medien.

Zu der individuellen Bewertung des Schadens kommen die durch Gruppen oder Organisationen vorgenommene Wahrnehmung und Bewertung hinzu. Dabei ist nicht nur in Analogie zum Individuum die Ebene des wertenden Subjekts von dem Individuum auf ein kollektives Subjekt verlagert, es kommen auch ganz andere Schadenskategorien ins Spiel. Es geht nämlich nicht nur darum, wie hoch der wahrge-

nommene Schaden insgesamt bewertet wird, sondern auch, wie sich der Schaden in unterschiedlicher Weise auf gesellschaftliche Gruppen auswirkt. Die Frage nach der Symmetrie der Verteilung von Schaden und Nutzen auf die verschiedenen gesellschaftlichen Gruppen hat oft mehr soziale und politische Sprengkraft als die aggregierte oder durchschnittliche Höhe der Schäden. Neben das Verteilungsproblem treten symbolische Schadenskategorien wie der Verlust der Glaubwürdigkeit von Institutionen, die Auswirkungen von Ereignissen auf politische Mobilisierbarkeit oder Apathie (z. B. Politikverdrossenheit) sowie auf die politische Beherrschbarkeit der mit dem Schaden verbundenen Konflikte.

Welche Schadenskategorien sind nun für die globalen Umweltrisiken von Bedeutung? Der Beirat hat sich im wesentlichen auf die Risiken beschränkt, die einerseits globale Auswirkungen haben und die andererseits im Verlauf der Schadenskette umweltrelevante Auswirkungen umfassen. Im nächsten Teilkapitel soll aus der Vielzahl der möglichen globalen Schadenskategorien eine sinnvolle Auswahl getroffen werden.

2.2

Relevante Schadenskategorien

Bei der Betrachtung eines bestimmten Risikos muß danach gefragt werden, welcher Art die mögliche Schädigung sein kann, wie diese durch den Menschen wahrgenommen und wie sie bewertet wird. Für die Bestimmung der Art der möglichen Schädigung kann folgende Kategorisierung hilfreich sein:

1. *Effektiv- oder Realschaden*: Einbuße an realen Lebenswerten. Gemeint sind dinglich greifbare oder physisch bzw. psychisch erlebte Beeinträchtigungen des materiellen Reichtums oder des körperlich-seelischen Status. Hierher gehören: Sachschäden und leibseelische Schäden, also Beeinträchtigung eines Rechtsgutes, Rechts oder rechtlich geschützten Interesses einer Person oder Gesellschaft durch eine andere Person oder Gesellschaft.
2. *Eventualschaden*: Verlust einer tatsächlichen oder vermeintlichen Chance; Nichterreichung des möglichen Nutzens. Personenschäden (leibseelische Schäden) führen meist zu Leistungsausfällen oder -minderungen und verursachen somit für das betroffene Individuum einen Einkommensausfall, für die Gesamtheit eine potentielle Einbuße an Gütern und Diensten.
3. *Ausgleichsschaden*: Aufwand zur Beseitigung eingetretener Schäden. Dieser besteht in dem Aufwand, den der Ersatz oder die Wiederherstellung des Zerstörten oder Beschädigten erfordern. Ein

Ausgleichsschaden entsteht nur bei Sachschäden.

Diese 3 Schadenskategorien schließen sich nicht gegenseitig aus, sondern beleuchten den gleichen Sachverhalt aus unterschiedlichen Perspektiven. Sie stellen unterschiedliche Bewertungsmuster für die Erfassung und Qualifizierung von Schäden dar. Neben der Kategorisierung nach Schadensarten ist es sinnvoll, zwischen materiellen und immateriellen Schäden zu differenzieren.

Wie aber bewertet man Schadenspotentiale, die nicht eindeutig in geldwerten Verlusten gemessen werden können? Der Verlust des Vertrauens in die Integrität politischer Entscheidungsträger etwa ist nicht monetär zu bestimmen, sondern kommt beispielsweise darin zum Ausdruck, daß Wahlbeteiligungen sinken oder Regierungen in kurzen Zeitabständen neu gebildet werden. Für diese und ähnliche Formen der ideellen Schädigung sind Maßstäbe zu bestimmen, die wie bei den Vermögensverlusten eine Bildung von Bewertungsklassen erlauben. Damit wird auch deutlich, daß je nach zu untersuchendem Risiko ganz spezifische Konstellationen von Indikatoren herangezogen werden müssen, die häufig nur mit entsprechendem Expertenwissen formuliert werden können. In der Praxis ist darauf zu achten, daß das Schadenspotential mit einer überschaubaren Anzahl von Indikatoren so gemessen werden kann, daß eine Einordnung in Relevanzklassen möglich wird.

Schließlich ist von Bedeutung, ob der mögliche Schaden irreversibel oder aber behebbbar bzw. kompensierbar ist. So kann durch Kontamination ein lokales Ökosystem der Erde irreversibel zerstört werden. Die natürlichen Lebensgrundlagen werden aber hierdurch nicht spürbar beeinflusst, wenn durch Substitution oder Produktivitätssteigerung ein anderes Ökosystem eine Kompensation der ökologischen Leistungen ermöglicht. Irreversible Modifikationen des Erdsystems sind also immer dann von besonderer Relevanz, wenn sie nicht kompensiert werden können.

Kriterien zur Ermittlung des Schadenspotentials

1. Handelt es sich um einen Real-, Eventual- oder Ausgleichsschaden?
2. Liegt ein materieller Schaden vor? Wie hoch ist dieser?
3. Liegt ein ideeller Schaden vor (z. B. Kulturerbe)? Wie läßt sich dieser messen und wie hoch ist er?
4. Wieviel Menschen sind vom Schaden betroffen und wie hoch ist das durchschnittliche Schadenspotential?
5. Sind die Schäden irreversibel oder nicht kompensierbar?

Wendet man diese Kriterien an, so zeigt sich, daß das Schadenspotential sehr unterschiedliche Formen an-

nehmen kann. Am Beispiel des Erdbebenrisikos wird deutlich, daß hier nicht in erster Linie danach gefragt wird, wie stark das Beben sein muß, um einen bestimmten Schaden hervorzurufen, sondern daß v. a. danach gefragt werden muß, welche physischen und sozialen Potentiale durch das Erdbeben geschädigt werden können. Unabhängig davon, daß verschiedene Regionen der Erde mehr oder weniger anfällig gegenüber solchen Naturrisiken sind, bezieht sich das Schadenspotential sowohl auf das naturräumliche als auch auf das zivilisatorische Inventar. Für Erdbeben bedeutet dies, daß viele Menschen durch das Risiko bedroht sind, in der Regel ein hoher materieller Schaden vorliegt, Kulturgüter in Mitleidenschaft gezogen werden und Schäden somit auch irreversibel sein können.

Im Gegensatz zum vorgenannten Fall ist das Schadenspotential für das BSE-Risiko sehr viel schwerer zu bestimmen. Zwar ist davon auszugehen, daß zivilisatorische Schutzgüter nicht von diesem Risiko betroffen sind. Das Schadenspotential für das naturräumliche Potential ist z. Z. jedoch nicht bestimmbar, da das Wissen über das BSE-Risiko noch zu gering ist, um gesicherte Aussagen treffen zu können. Beispiele der Einschätzung dieses Risikos deuten allerdings an, daß sowohl Real- als auch Eventual- und Ausgleichsschäden in vielen Ländern von erheblicher volkswirtschaftlicher Bedeutung sein können.

2.3

Probleme der Aggregation von Schadenskategorien zu einem Schadensindex

Eine der großen Herausforderungen der Schadensbewertung besteht in der Aggregation der verschiedenen Schadenskategorien zu einem *Gesamtschadensindex* (Baram, 1980). Im Prinzip gehen alle Risikoabschätzer davon aus, daß Entscheidungen unter Unsicherheit eine Abwägung von Nutzen und Schaden voraussetzen. In der Ökonomie erfolgt dies auf der Basis von Risiko-Nutzen-Abwägungen, in der Psychologie nach dem gängigen Muster des subjektiven Erwartungsnutzens und in der Soziologie nach dem kollektiven Erwartungsnutzen von Gruppen oder Institutionen.

Eine gerechte, umfassende und nachvollziehbare Ermittlung und Bewertung von Schadenspotentialen sind bereits für einzelne Schadenskategorien äußerst schwierig. Folgende konzeptionelle und instrumentelle Probleme sind besonders zu beachten (Renn, 1995):

- Einige Schadenskategorien werden von vielen Individuen und Gruppen als nicht „tauschfähig“ angesehen, wenn auch das Risiko, einen solchen Schaden zu erleiden, als verrechenbar angesehen

werden kann. In der Regel läßt sich anhand einer Tauschfunktion (mit der Wahrscheinlichkeit des Schadenseintritts auf der Abzisse und der nutzenäquivalenten Kompensationssumme auf der Ordinate) der Punkt bestimmen, an dem ein Risikoträger nicht mehr bereit ist, eine monetäre Entschädigung für das aufzunehmende Risiko anzunehmen. Da Individuen unterschiedliche Risikopräferenzen haben und somit auch die Schwellenwerte der Funktion variieren, bedarf es kollektiver Prozesse der Standardfestlegung, um eine für alle Individuen akzeptable Grenze der Kompensationsfähigkeit zu bestimmen. Diese Vereinbarung gilt natürlich nur für solche Risiken, die sich nicht vollständig individualisieren lassen.

- Abwägungen lassen sich nicht durch formale Verfahren intersubjektiv verbindlich festlegen, was daran liegt, daß jede Gruppe unterschiedliche Gewichtungen zwischen den verschiedenen Schadenskategorien vornimmt. Eine Überführung in Geldeinheiten oder in eine andere Verrechnungseinheit setzt voraus, daß es ein theoretisch befriedigendes und praktisch akzeptables Verfahren der Aggregation von individuellen Präferenzen gibt. Dies ist leider nicht in Sicht.
- Neben der Höhe der Schäden spielt bei der Verrechenbarkeit auch die Verteilung von Schäden eine wichtige Rolle. Verfahren der Abwägung, die nur die Allokation optimieren (etwa aggregierte Kosten-Nutzen-Analysen), führen häufig zu ungleichen Verteilungen von Lasten. Das gleiche gilt übrigens auch für reine Mehrheitsentscheidungen. Bei der Abwägung sind also die Verteilungsfragen unbedingt mit zu berücksichtigen. Dies kann dadurch geschehen, daß alle Risikoträger oder ihre Vertreter an der Entscheidungsfindung beteiligt werden, also selbst mitbestimmen können, welches Verhältnis von Risiko-Nutzen-Verteilung sie für akzeptabel halten.

Wegen der Schwierigkeit, allgemein verbindliche Kriterien für die gegenseitige Abwägung von Schäden *ex ante* festzulegen, wird häufig gefordert, derartige Verrechenbarkeiten im diskursiven Prozeß der Interessengruppen festzulegen. Aber auch eine solche Verschiebung der „substantiellen Legitimation“ auf „Legitimation durch Verfahren“ ändert nichts an der Tatsache, daß in einem Diskurs wiederum nach substantiellen Regeln der Verrechenbarkeit argumentiert werden muß. Der Vorteil einer diskursiven Lösung besteht jedoch darin, daß unterschiedliche Gerechtigkeits- und Abwägungsregelsysteme miteinander im Austausch der Argumente konkurrieren können. Auf die Verfahren der Bestimmung eines Gesamtrisikos wird in Kap. G eingegangen.

2.4

Auswahlkriterien global relevanter Umweltrisiken

2.4.1

Wahl der Kriterien

Um aus der großen Zahl möglicher Risiken die global relevanten Umweltrisiken auszuwählen, reicht die Kategorisierung der Risiken nach Risikotypen noch nicht aus. So gehören etwa Mord oder Suizid sicher zu den wesentlichen Risiken in unserer Gesellschaft, sie lassen sich auch in unsere Risikotypen einordnen, sind jedoch für den Beirat nicht von Belang, weil keine Umweltveränderungen betroffen sind. Daneben gibt es viele lokale, regionale und auch nationale Risiken, die besondere Aufmerksamkeit auf der jeweiligen politischen Ebene erfordern, die sich aber nicht global auswirken. Aus diesem Grund ist es notwendig, neben der Beschränkung auf Risiken im Grenz- oder Verbotsbereich auch noch 2 zusätzliche „Filter“ einzubauen:

1. Der *Globalfilter* überprüft die Risiken auf ihren transnationalen Charakter. Die Risikoausmaße reichen über die Grenzen eines Landes hinaus oder können nur durch ein globales Risikomanagement beherrscht werden.
2. Mit dem *Umweltfilter* wird sichergestellt, daß nur solche Risiken untersucht werden, bei denen in der Ablaufkette signifikante Umweltschäden zu erwarten sind.

Im folgenden sind diese beiden Auswahlfilter im einzelnen beschrieben. Alle Risiken, die im weiteren Gutachten analysiert werden, müssen beide Kriterien erfüllen.

2.4.2

Globalfilter

Der Globalfilter läßt sich, da sich die auszuwählenden Umweltrisiken eng an der Mensch-Umwelt-Schnittstelle orientieren, kausal mit den vom Beirat bereits identifizierten *Kernproblemen des Globalen Wandels* (WBGU, 1996b) in Verbindung bringen. Die Kernprobleme kennzeichnen Krisenlagen in der Mensch-Umwelt-Wechselwirkung, die Ursache von globalen Umweltrisiken sein können. Da sie *per definitionem* globale Bedeutung haben, sollte daraus auch eine global bedeutsame Wahrscheinlichkeit für eine Gefährdung ableitbar sein. Der Globalfilter prüft dementsprechend zunächst den Bezug von Risiken zu den Kernproblemen des Globalen Wandels. Dafür muß gefragt werden, ob ein Umweltrisiko durch die Kernprobleme direkt verursacht oder sig-

nifikant erhöht wird. Neben der Veränderung des Eintretens von Gefahrenlagen spielt hier insbesondere eine Erhöhung der Verwundbarkeit eine wichtige Rolle (Kap. E 2). Sie kann in diesem Kontext mit dem Schadenspotential gleichgesetzt werden.

Die Veränderung des Klimas, der Verlust fruchtbarer Böden, die Abnahme der biologischen Vielfalt, die Verknappung des Süßwassers, die Übernutzung der Weltmeere, die Zunahme von (menschlich mitverursachten) Naturkatastrophen, das Bevölkerungswachstum, zunehmende Migration (Umweltflüchtlinge), die Verstärkungsdynamik, die Gefährdung der Welternährung und der menschlichen Gesundheit sowie das zunehmende Wohlstandsgefälle zwischen Industrie- und Entwicklungsländern sind die wesentlichen negativen Erscheinungsformen des Globalen Wandels (Kasten C 2.4-1). Sie verändern weltweit die Verwundbarkeit gegenüber den Folgen von Katastrophen und damit auch die Bewertung von Umweltrisiken hinsichtlich ihrer globalen Bedeutung.

Aus diesem Zusammenhang ergibt sich aber auch, daß ein adäquates Umweltmanagement globaler Umweltrisiken, die im oben aufgezeigten Zusammenhang mit den Kernproblemen des Globalen Wandels stehen, eine überstaatliche Zusammenarbeit erfordert (Kap. F).

Die Kernprobleme des Globalen Wandels weisen demnach 2 wesentliche Eigenschaften auf: Zum einen haben sie transnationalen Charakter, zum anderen sind sie nur mit überstaatlichen Anstrengungen zu lösen. Umweltrisiken, die in direktem Zusammenhang mit den Kernproblemen des Globalen Wandels stehen, sind daher immer von globaler Relevanz.

Der Globalfilter muß darüber hinaus aber auch solche Risiken berücksichtigen, die keinen direkten Bezug zu den Kernproblemen des Globalen Wandels aufweisen. Bestimmte Anwendungen der Gentechnologie beispielsweise stehen in keinem direkten Zusammenhang mit den Kernproblemen des Globalen Wandels, können jedoch u. U. ein globales Risiko darstellen. Daher ist der Globalfilter um weitere Prüfkriterien zu erweitern, die sich u. a. auf das mit einem Risiko verbundene Bedrohungs- oder Bewältigungspotential beziehen. Aus den obigen Ausführungen werden 3 Fragestellungen als Filterkriterien formuliert.

Kriterien des Global filters

1. Besteht für das Risiko ein Bezug zu den Kernproblemen des Globalen Wandels?
2. Ist das Bedrohungspotential des Risikos von globaler oder zumindest internationaler Relevanz?
3. Ist zur Beherrschung des Risikos ein globales Management erforderlich?

Kasten C 2.4-1

Kernprobleme des Globalen Wandels

Natursphäre

- *Klimawandel*: Die Menschheit provoziert über die Anreicherung langlebiger Treibhausgase in der Atmosphäre einen signifikanten Klimawandel, der sich schon heute vom „Rauschen“ der natürlichen Klimavariabilität abhebt. Rückkopplungen der anthropogenen Erderwärmung mit der ozeanischen Zirkulation und der Dynamik der polaren Eismassen sind zu befürchten. Wie sich die prognostizierte Verschiebung der Klimagürtel und damit der Vegetationsbedeckung und der landwirtschaftlichen Anbauzonen, der Anstieg des Meeresspiegels und die Entwicklung von Wetterextremen auf Mensch und Natur regional und global auswirken werden, ist noch weitgehend ungeklärt.
- *Bodendegradation*: Die Böden der Erde weisen in vielen Ländern bereits heute mittlere bis schwere Schädigungen auf. Die Situation verschlechtert sich von Jahr zu Jahr. Verursacht werden die Degradationen beispielsweise durch die rasch wachsende Weltbevölkerung und ihre wirtschaftlichen Aktivitäten, in deren Folge Übernutzungen und Umgestaltungen von Pflanzendecken, Verdichtungen und Versiegelungen von Böden sowie Belastungen durch toxische organische und anorganische Stoffe auftreten. Schwere Bodendegradationen bedeuten Zerstörung menschlicher Lebensgrundlagen und können damit Hunger, Migration oder kriegerische Auseinandersetzungen auslösen.
- *Verlust von biologischer Vielfalt*: Nutzungsänderungen auf großen Flächen der Erde (wie Rodung von Wäldern, Umwandlung von Weiden in Ackerland, Verlust von Feuchtgebieten usw.) sind u. a. ein Grund für den Verlust von Ökosystemen, das Artensterben und den Schwund des weltweiten Genpools. Damit geht der Verlust potentiell nutzbarer Arten oder Naturstoffen einher, die Regulierungsfunktion von Ökosystemen wird gefährdet, und es verschwinden immer mehr kulturell, ästhetisch oder wissenschaftlich wichtige Biotop. Der Verlust an Kulturpflanzensorten und Nutzierrassen führt zu einer erhöhten Anfälligkeit gegenüber Schädlingen und Krankheiten und damit zu einer möglichen Gefährdung der Ernährungsgrundlagen der Menschen.
- *Verknappung und Verschmutzung von Süßwasser*: Durch Bewässerungslandwirtschaft, Industrialisierung und Verstädterung werden die Süßwasservorräte lokal und regional übernutzt. In vielen Teilen der Welt kommt es vermehrt zu Wasserknappheit und Wasserverschmutzung. Daraus entstehen zunehmend ökonomische, soziale und politische Konflikte um die knapper werdende Ressource Wasser, die auch globale Auswirkungen haben können.
- *Übernutzung und Verschmutzung der Weltmeere*: Der Ozean erfüllt wichtige ökologische (insbesondere klimatische) Funktionen, ist aber auch eine bedeutende Nahrungsquelle sowie eine Senke für anthropogene Abfälle. Insbesondere die Küstenregionen und Randmeere werden durch Immissionen und direkte Einleitungen über Flüsse zunehmend mit Schadstoffen belastet. Über die Gefährdung der Regionen, in denen Fischfang betrieben wird hinaus, ergeben sich auch globale Auswirkungen, etwa hinsichtlich der Bedeutung des Fischfangs für die Welternährung.

- *Zunahme anthropogen verursachter Naturkatastrophen*: Vieles deutet darauf hin, daß Naturkatastrophen durch menschliche Eingriffe in natürliche Systeme zunehmen. Beispielsweise werden durch die Rodung von Wäldern im Himalaya Hochwasser in den Gebirgsvorländern mit existentieller Bedrohung für die Bevölkerung verursacht. Dies führt nicht zuletzt zu einem Migrationsdruck (Umweltflüchtlinge), der weite Teile der Völkergemeinschaft betrifft.
- *Ressourcenübernutzung und Überbeanspruchung der natürlichen Senken*: Im Rahmen der Debatte um eine nachhaltige Entwicklung ist die Frage nach der Begrenztheit der Natur als Speicher von Ressourcen und als Senken für Abfälle thematisiert worden. Vor allem die Senkenfunktion der Natur wird nach Meinung der meisten Wissenschaftler weit über das verträgliche Maß hinaus genutzt.

Anthroposphäre

- *Bevölkerungsentwicklung und -verteilung*: Die Weltbevölkerung wächst weiter, in erster Linie in den Entwicklungs- und Schwellenländern. Ursachen hierfür sind u. a. ein zu geringes Bildungsniveau (und damit verbunden hohe Geburtenraten), ungenügende soziale Sicherungssysteme sowie die soziale Ausgrenzung großer Teile der Bevölkerung dieser Länder. Hinzukommen Landflucht sowie intra- und internationale Migrationsbewegungen. Dies führt zu einem schnellen urbanen Wachstum, besonders in Küstengebieten. Die städtische Infrastruktur (Energie, Wasser, Verkehr, soziale Dienste usw.) kann vielerorts mit diesem Wachstum nicht mithalten. Hierdurch induzierte Umwelt- und Armutsprobleme (soziale Unruhen) haben globale Auswirkungen.
- *Umweltbedingte Gefährdung der Welternährung*: Große Teile der Menschheit sind fehl- bzw. unterernährt. Ihre Ernährung wird durch Bodendegradation, Wasserknappheit und Bevölkerungswachstum zunehmend schwieriger. Dieser Trend wird häufig durch eine fehlgeleitete Wirtschafts- und Entwicklungspolitik verstärkt.
- *Umweltbedingte Gefährdung der Weltgesundheit*: Bevölkerungsentwicklung, Hunger und Kriege, aber auch die Verschmutzung des Trinkwassers und mangelhafte Abwasserbehandlung führen in vielen Ländern der Erde zum vermehrten Auftreten von Infektionskrankheiten, zu Epidemien und Seuchengefahr. Angesichts der wachsenden globalen Mobilität steigt die Gefahr der schnellen Ausbreitung von Seuchen. Luftverschmutzung führt in Industrieländern zur Verstärkung von Krankheitsbildern.
- *Globale Entwicklungsdisparitäten*: Die strukturellen Ungleichgewichte zwischen Industrie- und Entwicklungsländern haben in den letzten Jahrzehnten nicht ab-, sondern zugenommen. Dahinter stehen ökonomische, technische und soziale Veränderungen, insbesondere die Globalisierung der Wirtschaft mit ihrer zunehmenden internationalen Arbeitsteilung. Das hat einigen Ländern zu der gewünschten ökonomischen Entwicklung verholten, allerdings oft auf Kosten der natürlichen Umwelt. Die große Zahl der Entwicklungsländer (insbesondere in Afrika) ist dennoch sehr arm geblieben. Insbesondere dort stellen der Verlust sozialer Sicherheit und damit verbundene Migrationsprozesse ein erhebliches Problem dar. Dieses „Entwicklungsdilemma“ prägt und belastet den Globalen Wandel und ist ein zunehmendes Risiko.

2.4.3

Umweltfilter

Der Umweltfilter zielt darauf ab, nur solche Risiken in die Analyse aufzunehmen, bei denen in der Ablaufkette signifikante Umweltschäden zu erwarten sind. Dieser Filter soll alle Risiken ausschließen, die sich nicht auf eine Mensch-Umwelt- bzw. Umwelt-Umwelt-Interaktion beziehen. Dem Mandat des Beirats entsprechend, sollen Mensch-Mensch-Interaktionen wie z. B. ethnische Auseinandersetzungen (trotz ihrer anerkannt weltweiten Bedeutung) nicht behandelt werden.

Hierbei sind auch komplexe Schadenszusammenhänge zu berücksichtigen. Ein einzeln oder massenhaft auftretender Schaden kann eine Kette weiterer Schäden auslösen, mit möglicherweise erheblich größerer Wirkungsbreite als der des Erstschadens. Im Rahmen des Umweltfilters müssen diese Folgeerscheinungen abgeschätzt und in die Beurteilung mit einbezogen werden.

Am einfachsten sind dabei solche Konstellationen, die als „Zweierketten“ bezeichnet werden können. Hierzu gehören beispielsweise:

- *Umwelt-Umwelt-Interaktionen*: El Niño führt zu Überflutung wertvoller Naturgebiete,
- *Umwelt-Mensch-Interaktionen*: Erdbeben führen zu erheblichen materiellen Schäden,
- *Mensch-Umwelt-Interaktionen*: Schwefel- und Stickoxidemissionen führen zu global relevanten Waldschäden.

Auch die nachfolgenden „Dreierketten“ sind noch überschaubar:

- *Umwelt-Umwelt-Mensch-Interaktionen*: El Niño führt erst zu Überflutungen, welche dann Versorgungsschwierigkeiten auslösen,
- *Umwelt-Mensch-Umwelt-Interaktionen*: Erdbeben führen zu Zerstörung von Städten, durch Umsiedlung werden natürliche Flächen in Anspruch genommen,
- *Mensch-Umwelt-Umwelt-Interaktionen*: Dammbau verursacht Veränderungen des Abflußregimes bei Flüssen, was in weit entfernten Küstenregionen zu Verlust von Mangrovenwäldern führt,
- *Mensch-Umwelt-Mensch-Interaktionen*: Falsche Fütterung führt zu BSE bei Rindern, durch Rindfleischgenuß entstehen Gesundheitsschäden für den Menschen.

Wie die vom Beirat identifizierten Syndrome des Globalen Wandels zeigen, können komplexe Mensch-Umwelt-Interaktionen weitaus mehr als 3 Kettenglieder aufweisen (WBGU, 1994, 1998a). Die Kette kann sich wieder schließen, dann entstehen Rückkopplungsschleifen („Teufelskreise“) des Globalen Wandels. Schließt sich die Kette nicht oder

zeichnet sich die Existenz mehrerer Teilketten für ein Risiko ab, so stellt sich die Frage nach der noch tolerierbaren Anzahl von Folgerisiken. In einigen Fällen kann man die Anzahl der Kettenglieder genau ermitteln, in anderen Risikobereichen fehlt das Wissen, um alle Folgerisiken erfassen zu können. In Kap. E werden die systemischen Verbindungslinien zwischen Schadensketten aufgegriffen und vertieft.

Der Beirat leitet für den Umweltfilter folgendes Kriterium ab: Die Ablaufkette des Risikos muß zumindest eine Umwelt-Umwelt-, Mensch-Umwelt- oder Umwelt-Mensch-Interaktion (Zweierkette) enthalten.

3.1 Die Bedeutung von Abschätzungssicherheit

Normalerweise werden Risiken durch 2 Größen definiert: die Eintrittswahrscheinlichkeit und das Schadensausmaß (Hauptmanns et al., 1987). Die Abschätzung dieser beiden Größen ist abhängig von der Quantität und Qualität der jeweiligen Daten, die eine gültige Vorhersage von relativen Häufigkeiten erlauben. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Abschätzungssicherheit, die sich im Idealfall durch statistische Streubreiten um Schaden und Wahrscheinlichkeit ausdrücken läßt.

Mit dem Begriff der Abschätzungssicherheit verbindet der Beirat den Grad der Verlässlichkeit, mit der eine Aussage über die Wahrscheinlichkeit von Schadensereignissen getroffen werden kann. Normalerweise werden bei Risikoanalysen die beiden Variablen Schadenshöhe (z. B. von 1–10.000 Verletzten) und die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten für jede Schadenshöhe (von extrem kleinen Wahrscheinlichkeiten bis nahezu 1 für ein fast sicheres Ereignis) einander gegenübergestellt. Auf diese Weise erhält man eine Funktion, bei der man für jede Schadenshöhe die entsprechende Wahrscheinlichkeit ablesen kann. Meist gibt es aber keine klaren und eindeutigen Hinweise, welche Wahrscheinlichkeit mit einer bestimmten Schadenshöhe verbunden ist. Hat man nur begrenzte Datenmengen aus Beobachtungen vergangener Ereignisse zur Verfügung, dann kann man mit Hilfe der induktiven Statistik einen Streubereich angeben, innerhalb dessen mit einer 95%igen oder 99%igen Wahrscheinlichkeit der wahre Wert für die einem bestimmten Schaden zugeordnete Wahrscheinlichkeit liegen muß.

Oft liegen aber nicht einmal Stichproben oder Daten aus Beobachtungsreihen vor. In diesen Fällen müssen auch Expertenurteile als Ersatz für empirische Datensätze aus Beobachtungen der Vergangenheit herangezogen werden. Dabei wird entweder eine große Zahl von Experten gebeten, die Streubreite zu schätzen, wobei die jeweils von den einzelnen Experten angegebenen Streubreiten statistisch

zu einem Intervall verrechnet werden. Oder die Experten werden gebeten, eine möglichst punktgenaue Schätzung abzugeben, wobei dann die Streuung zwischen den Experten als Streubreite nach weiterer Berechnung übernommen wird. In beiden Fällen erhält man eine Funktion zwischen Wahrscheinlichkeit und Schadensausmaß, die zu jeder Schadensausprägung einen Mittelwert (Punkt auf der Funktion) und einen Streubereich (Fehlerbalken) erhält. Unter Umständen kann es auch sinnvoll sein, die Wahrscheinlichkeit festzulegen und den Streubereich um die Schadenshöhe zu positionieren. In diesem Fall lautet die Frage: Wie streuen die Schadensausmaße bei einer Eintrittswahrscheinlichkeit von x%? Das Ergebnis der Ermittlung von Streubereichen kann grafisch in die Funktion von Schadensausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit mit dem Einblenden von Fehlerbalken (entweder zur Eintrittswahrscheinlichkeit oder zum Schadensausmaß) veranschaulicht werden. Abb. C 3.1-1 gibt einen idealtypischen Verlauf einer solchen Funktion wieder.

Die Abschätzungssicherheit ist um so höher, je kleiner der Fehlerbalken ist. Um diese Größe weiter zu normieren, hat es sich eingebürgert, diese Abschätzungssicherheit als einen Zahlenwert zwischen dem Wert 1 (hohe Sicherheit bzw. kein Fehlerbalken) und dem Wert 0 (geringe Sicherheit bzw. Fehlerbalken von 0 bis nahezu unendlich) anzugeben. Bei einem Wert nahe 1 kann man mit Sicherheit davon ausgehen, daß ein Schadensereignis mit einer Wahrscheinlichkeit von x zu erwarten ist. Auch dieser Wert x ist natürlich ein Grenzwert der Häufigkeitsverteilung (also keine Prognose für den Einzelfall), aber alle Experten sind sich hier einig, daß er die wahren Verhältnisse präzise widerspiegelt. Bei einem Wert nahe 0 sind sich offenkundig alle Experten uneins oder die Beobachtungsdaten streuen derart, daß zwar eine Mittelwertbildung möglich, die Streuung um diesen Mittelwert aber erheblich ist. Bei Werten nahe 0 wird auch die Grenze zur Unbestimmtheit bzw. Ahnungslosigkeit (zusammengefaßt unter dem Begriff Ungewißheit) überschritten. Denn offenkundig sind die Daten oder Schätzungen so breit ge-

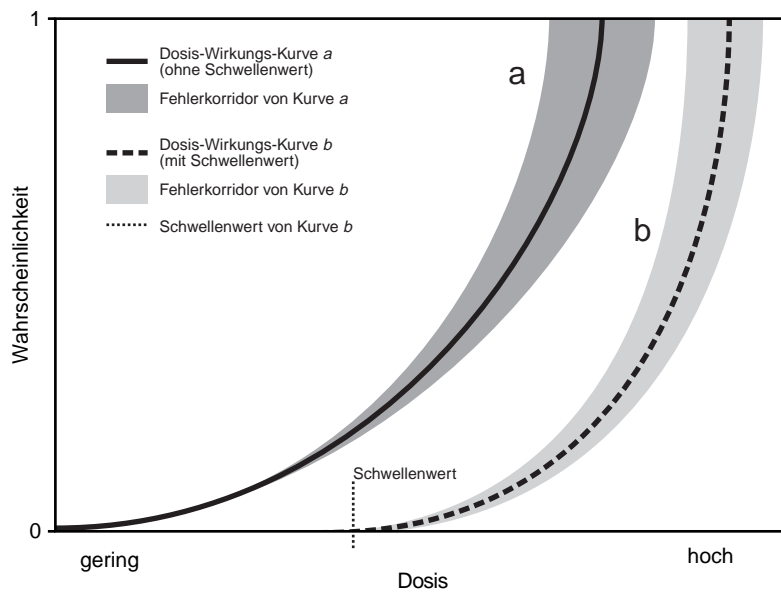


Abbildung C 3.1-1
Dosis-Wirkungs-Funktion
mit Fehlerkorridoren.
Quelle: WBGU

streut, daß man nicht von einem gesicherten Wissen ausgehen kann.

Man kann sich die Abschätzungssicherheit am Beispiel einer Lotterie mit schwarzen und weißen Kugeln veranschaulichen. Bei einer Abschätzungssicherheit von 1 (hohe Sicherheit) kennt man genau die Anzahl der schwarzen und weißen Kugeln. Aus diesem Grund kann exakt angegeben werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine schwarze oder weiße Kugel gezogen wird. Bei niedriger Abschätzungssicherheit (hoher Fehlerbalken) ist die Anzahl der weißen oder der schwarzen Kugeln (bzw. deren Verhältnis in der Urne) jedoch nicht bekannt. Sie muß indirekt aus einer Zahl von Ziehungen oder aus den Schätzungen einiger Experten, die einen kurzen Blick auf die Urne haben werfen können, erschlossen werden. Mit Hilfe der klassischen Statistik (im Fall des mehrfachen Ziehens einer Kugel) oder der Bayesian Statistik (im Fall der Expertenurteile) kann eine Approximation über das Verhältnis von schwarzen und weißen Kugeln getroffen werden, für die wiederum eine Wahrscheinlichkeit (2. Ordnung) angegeben werden kann. Somit ist es möglich, mit einer Wahrscheinlichkeit von beispielweise 95% bei einer langen Reihe von Ziehungen die maximale Anzahl von weißen Kugeln vorherzubestimmen, ohne daß der genaue Erwartungswert für die Ziehung einer weißen Kugel bekannt ist.

Die Große Abschätzungssicherheit spielt bei der Betrachtung von globalen Risiken eine entscheidende Rolle. Denn selbst wenn der statistische Mittelwert für einen globalen Schaden relativ niedrig ist, kann der Fehlerbalken dennoch weit streuen, d. h. es kann noch große Unsicherheit darüber herrschen, ob die Wahrscheinlichkeit für einen globalen Schaden

nicht wesentlich größer oder auch kleiner ist, als es der Mittelwert signalisiert. 2 Ereignisse mit dem gleichen Mittelwert auf der Ausmaß-Wahrscheinlichkeits-Funktion sind also sehr unterschiedlich zu betrachten, je nachdem wie die Abschätzungssicherheit ausfällt. Ist sie hoch (nahe 1), dann sind meist Grenzwerte und technische Normen ausreichend, um das Risiko in den Normalbereich zu überführen. Ist sie aber niedrig (nahe 0), dann müssen vorsorgeorientierte Maßnahmen ergriffen werden, um auch für den Fall einigermaßen gerüstet zu sein, daß sich der obere Rand des Fehlerbalkens als realistisch erweist.

Beim Vorliegen von großen Datenmengen mit geringer Varianz, langen Beobachtungszeiträumen mit kleinen Zeitspannen zwischen Ursachen und Wirkungen und einer hohen Konstanz und Robustheit möglicher intervenierender Variablen kann man davon ausgehen, daß die Abschätzungssicherheit relativ hoch ist. In diesen Fällen spricht der Beirat von Unbestimmtheit und Ahnungslosigkeit, die beide unter den Oberbegriff der Ungewißheit subsumiert werden. Bei ungewissen Ereignissen beruht die Unwissenheit in Bezug auf Schadensausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit entweder auf (prinzipiell behebbaren) Informationsdefiziten, auf mangelnder Kenntnis von Erfahrungswerten aus der Vergangenheit (singuläre Ereignisse oder extrem lange Zyklen), auf mangelnder Erkenntnismöglichkeit der systematischen Kausalkette (z. B. undurchschaubares Geflecht an intervenierenden Variablen) oder auf unzureichender Signifikanz des Schadens gegenüber dem Hintergrundrauschen des Zufalls. Bei unbestimmten Risiken sind nur die Eintrittswahrscheinlichkeiten, im Fall der Ahnungslosigkeit zusätzlich das Schadenspotential unbekannt. Solche Risiken

müssen durch antizipative Strategien der Risikovermeidung und Ertüchtigung des Sozialsystems angegangen werden (Collingridge, 1996). Auf diese beiden Typen von Risiken wird in Kap. G ausführlich eingegangen. Eine geringe Abschätzungssicherheit deutet auf eine unzureichende Datenbasis oder auf Ereignisse mit einem hohen Zufallsanteil hin.

Es ist sinnvoll, zwischen Unbestimmtheit (Wahrscheinlichkeit unbekannt) und Ahnungslosigkeit (beide Komponenten unbekannt) zu differenzieren. Versicherungen können beispielsweise noch recht gut mit Risiken umgehen, bei denen eine hohe Abschätzungssicherheit auf der Schadensumfangseite herrscht, auch wenn die Abschätzungssicherheit bei den Eintrittswahrscheinlichkeiten zu wünschen übrig läßt (Kleindorfer und Kunreuther, 1987). Wenn aber auch das Schadensausmaß sehr unsicher bleibt, ist es für Versicherungen fast unmöglich, eine kostendeckende Prämie festzusetzen. In diesem Fall könnten z. B. private oder öffentliche Fondslösungen greifen (Kap. F 3).

Der Beirat stellt fest, daß die Wahl der Instrumente für das Management eines Risikos also nicht nur von Schadensausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit, sondern auch von der jeweiligen Abschätzungssicherheit abhängt.

3.2

Zusätzliche Differenzierung der Beurteilungskriterien

Neben diesen beiden klassischen Komponenten des Risikos sollten noch weitere Bewertungselemente in die Charakterisierung von Risiken aufgenommen werden (Kates und Kasperson, 1983; California Environmental Protection Agency, 1994; Haller, 1990). Diese Bewertungselemente lassen sich aus den Untersuchungen über Risikowahrnehmung ableiten, sie werden in einer Reihe von Ländern (etwa Dänemark, Niederlande und Schweiz) bereits als Kriterien benutzt oder sind dort für Risikobewertungsverfahren vorgeschlagen worden. Von besonderer Bedeutung sind dabei folgende Kriterien:

- *Ubiquität*: räumliche Verbreitung des Schadens oder des Schadenspotentials (intragenerationale Gerechtigkeit)
- *Persistenz*: zeitliche Ausdehnung des Schadens oder des Schadenspotentials (intergenerationale Gerechtigkeit)
- *Irreversibilität*: Nichtwiederherstellbarkeit des Zustandes vor Schadenseintritt. Dabei geht es im Umweltbereich vorrangig um die typenmäßige Wiederherstellbarkeit im Rahmen eines dynamischen Wandels (etwa Wiederaufforstung oder Reinigung des Wassers möglich), nicht um die in-

dividuelle Restaurierung des Urzustandes (etwa Erhalt eines individuellen Baumes oder Ausmerzungen nicht einheimischer Pflanzen- und Tierarten).

- *Verzögerungswirkung*: Damit ist die Möglichkeit gemeint, daß zwischen dem auslösenden Ereignis und der Schadensfolge eine lange Latenzzeit herrscht. Diese Latenzzeit kann physikalischer (langsame Reaktionsgeschwindigkeit), chemischer oder biologischer Natur sein (etwa bei vielen Krebserkrankungen oder mutagenen Veränderungen) oder sich als Folge einer langen Variablenkette (etwa Aussetzen des Golfstroms aufgrund von Klimaveränderungen) ergeben.
- *Mobilisierungspotential* (Akzeptanzverweigerung): Darunter versteht man die Verletzung von individuellen, sozialen oder kulturellen Interessen und Werten, die eine entsprechende Reaktion der Betroffenen hervorruft. Diese Reaktionen umfassen den offenen Protest, den Entzug von Vertrauen in die Entscheidungsträger, geheime Sabotageakte oder andere Formen der Gegenwehr. Auch psychosomatische Folgen lassen sich in diese Kategorie aufnehmen.

Andere aus der Wahrnehmungsforschung bekannte Beurteilungskriterien sind vollständig oder hinreichend durch die hier ausgewählten Kriterien erfaßt. Läßt man die einschlägigen Arbeiten zur Risikowahrnehmung Revue passieren, so verbinden die meisten Menschen mit Risiken auch Fragen der Kontrollierbarkeit (individuell und institutionell), der Freiwilligkeit, der Gewöhnung an die Risikoquelle und einer gerechten Risiko-Nutzen-Verteilung (Jungermann und Slovic, 1993b). Die Beurteilung der Kontrollierbarkeit ist einerseits in den Kriterien der Ubiquität und Persistenz von ihrer physikalischen Seite und in dem Kriterium der Mobilisierung von ihrer sozialen Seite her erfaßt. Das Kriterium der Freiwilligkeit läßt sich aus kollektiver Sicht kaum als Bewertungskriterium für gesellschaftliche Risiken heranziehen, weil es sich bei den hier interessierenden Fällen um Risiken handelt, die auf andere überwältigt werden. Das mit aufgezwungenen Risiken verbundene Protestpotential ist im Kriterium Mobilisierung enthalten. Die Gewöhnung an eine Risikoquelle ist für sich allein genommen kein normativ sinnvolles Bewertungskriterium, da man sich auch an große möglicherweise inakzeptable Risiken gewöhnen kann (z. B. Unfälle im Straßenverkehr).

Hinter dem Wunsch, gewohnte Risiken positiver zu beurteilen als neuartige Risiken, steht aber die berechtigte Sorge, daß man den Grad der Unsicherheit bei dem Eingehen von Risiken noch nicht hinreichend abschätzen kann und man daher eher vorsichtig vorgehen sollte. Dieser Aspekt ist in unserem Kri-

Kriterium	Bandbreite
Eintrittswahrscheinlichkeit W	0 bis gegen 1
Abschätzungssicherheit von W	Geringe bzw. hohe Abschätzungssicherheit bei der Schätzung der Wahrscheinlichkeit
Ausmaß der Schadensfolgen A	0 bis gegen unendlich
Abschätzungssicherheit von A	Geringe bzw. hohe Abschätzungssicherheit bei der Schätzung des Schadensausmaßes
Ubiquität	Lokal bis global
Persistenz	Kurze bis sehr lange Abbaurate
Irreversibilität	Schaden nicht rückholbar bis Schaden rückholbar
Verzögerungswirkung	Große zeitliche Distanz zwischen auslösendem Ereignis und Schaden
Mobilisierungspotential	Keine politische Relevanz bis hohe politische Relevanz

Tabelle C 3.2-1
Bandbreite der Kriterien.
Quelle: WBGU

terienkatalog durch die Größe Abschätzungssicherheit erfaßt.

Die Kriterien der Verteilungsgerechtigkeit sind dagegen schwieriger zu fassen, da es an intersubjektiv gültigen Maßstäben zur Messung von Gerechtigkeit und Ungerechtigkeit fehlt. Problemlos läßt sich die Frage nach der Identität zwischen Nutznießern einer Aktivität und den vom Risiko betroffenen Menschen beantworten.

Liegt Identität vor, dann erscheint eine individuelle Risikoregelung sinnvoll, wie bereits oben begründet. Anderenfalls müssen dagegen kollektive Regelungsmechanismen eingesetzt werden. Diese können von haftungsrechtlichen Verpflichtungen (und damit einer erneuten Individualisierung) bis hin zu Partizipationsrechten der Risikoträger an den Entscheidungen oder zu genehmigungsrechtlichen Vorschriften reichen. Inwieweit die Asymmetrien als ungleich empfunden werden und ob Kompensationen monetärer oder ideeller Art als adäquater Ausgleich angesehen werden, ist allerdings eine Frage der im jeweiligen Kultursystem herrschenden Wertvorstellungen.

In den meisten Fällen ist eine fallweise Betrachtung der Auswirkungen notwendig, um eine Verletzung des Gerechtigkeitspostulats intersubjektiv zu begründen. Einen Hinweis auf eine möglicherweise ungerechte Verteilung von Lasten geben die beiden Indikatoren Ubiquität und Persistenz. Ein sich global auswirkendes Risiko betrifft in der Regel die intragenerative Gerechtigkeit, ein persistentes Schadenspotential wirkt sich auf kommende Generationen aus. Beim Vorliegen von Extremwerten bei diesen beiden Indikatoren ist der Verdacht auf eine ungerechte Verteilung angebracht. Aber erst die Analyse des Einzelfalles kann zweifelsfrei klären, ob bestimmte Gerechtigkeitspostulate erfüllt bzw. verletzt sind.

Vorschläge für eine multidimensionale Bewertung von Risiken finden sich auch in der analytischen

und philosophischen Literatur zum Risiko (Hohe- nemser et al., 1983; Akademie der Wissenschaften zu Berlin, 1992; Shrader-Frechette, 1985; Gethmann 1993; Femers und Jungermann, 1991). Dabei werden z. T. ähnliche, z. T. leicht abweichende Kriterien zur Bewertung vorgeschlagen. In die nationale Gesetzgebung sind bislang in Dänemark, den Niederlanden und der Schweiz mehrdimensionale Bewertungsverfahren explizit aufgenommen worden. Andere Länder, v. a. die USA, nehmen zudem in der praktischen Standardsetzung durch ihre Beratungsgremien solche Bewertungen nach verschiedenen Kriterien vor (Hattis und Minkowitz, 1997; Beroggi et al., 1997; Petringa, 1997; Löfstedt, 1997). Der Beirat empfiehlt ein solches Vorgehen auch in Deutschland, v. a. bei der Beurteilung globaler Risiken.

Die vom Beirat empfohlenen Kriterien sind in Tab. C 3.2-1 zusammengefaßt. Diese Tabelle dient im Verlauf des weiteren Gutachtens zur Kennzeichnung der verschiedenen hier behandelten Risiken und hilft bei der Ableitung von Risikoprioritäten. Zusätzlich dienen diese Kriterien dazu, bestimmte Risikoklassen festzulegen (Kap. C 4).

3.3

Risikobewertung im Rahmen des Leitplankenkonzepts des Beirats

Welche Rolle spielen diese Kriterien für die Bewertung von Risiken? In der Vergangenheit hat der Beirat das „Leitplankenkonzept“ entwickelt (WBGU, 1996a). Dieses Konzept ist von dem Gedanken geprägt, daß bestimmte Schadensmöglichkeiten so weitreichende Substanzverluste mit sich bringen, daß diese nicht durch die damit verbundenen Nutzengewinne gerechtfertigt werden können. Werden bestimmte Schadensgrenzen überschritten, dann sind so viele oder so starke negative Folgewirkungen zu erwarten, daß auch große einmalige Nutzenvorteile

diese Schäden nicht ausgleichen können. Der Beirat hat diesem Phänomen durch die Festlegung von ökologischen und sozialen Leitplanken Rechnung getragen. Bestimmte ökologische Funktionen dürfen nicht gefährdet und bestimmte wirtschaftliche und soziale Errungenschaften nicht aufs Spiel gesetzt werden, um etwa kurzfristige wirtschaftliche Vorteile zu erzielen oder bestimmte Umweltschutzmaßnahmen durchzusetzen.

Bei der Frage nach der Bewertung der Risiken ist dieses Leitplankenkonzept zu erweitern. Da die Schäden ja nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit eintreten können, kann eine eindeutige Leitplanke nicht mehr definiert werden. Abgesehen von den Fällen, wo große Schäden mit hinreichend großer Wahrscheinlichkeit eintreffen können, läßt sich kaum eine trennscharfe Leitplanke definieren, bei der eine Abwägung zwischen Kosten- und Nutzen zugunsten eines eindeutigen Verbots oder eines Verzichtes entfallen sollte. Statt dessen schlägt der Beirat eine „Leitfläche“ vor, die signalisieren soll, daß hier besondere Sorgfalt bei der Steuerung und Regulierung von Risiken erforderlich ist. Mit dem Begriff der Leitfläche wird signalisiert, daß institutionelle Regelungen erforderlich sind, um zu einer adäquaten Bewertung und Regulierung zu kommen. Risiken, die in diese Leitfläche fallen, sind deckungsgleich mit den oben bereits erwähnten Risiken im Grenzbereich, ggf. im Verbotsbereich.

Mit Hilfe der 8 Bewertungskriterien ist es jetzt möglich, klarer zwischen Normalbereich und Grenzbereich zu differenzieren und Risiken nachvollziehbar in den einen oder anderen Bereich einzuordnen. Risiken erreichen dann den Grenzbereich, d. h. berühren die Leitfläche, wenn die einzelnen Kriterien der Risikocharakterisierung Extremwerte annehmen. Werden mehrere Extremwerte bei ein und derselben Risikoquelle überschritten, befindet man sich in der Regel im Verbotsbereich.

So können die Eintrittswahrscheinlichkeiten gegen 1 streben oder das Schadensausmaß kann gegen unendlich tendieren. Eine Leitfläche wird auch dann erreicht, wenn die Abschätzungssicherheit unendlich klein wird oder wenn die Folgen irreversibel, nichtkompensierbar und zugleich in hohem Maß persistent und ubiquitär sind, selbst wenn man über die Höhe des möglichen Schadens noch wenig weiß. Im nächsten Kapitel wird versucht, Musterklassen für Risiken anzugeben, die einen oder mehrere Extremwerte erreichen.

4 Bildung von Risikotypen

Rein theoretisch lassen sich aus den 8 Kriterien eine unübersichtliche Zahl von Risikoklassen festlegen. Bei 8 Variablen gibt es 2^8 Möglichkeiten der Kombination, sofern nur die 2 Alternativen „Normalfall“ und „Grenzfall“ unterschieden werden. Eine solche Vielzahl von Fällen würde dem Zweck der Klassenbildung, ein überschaubares Raster an Risikotypen vorzulegen, nicht gerecht. In der Realität sind aber einige der Kriterien eng miteinander gekoppelt und andere Kombinationen sind zwar theoretisch möglich, aber es gibt keine und nur wenige empirische Beispiele, die in diese Kategorien fallen. Zudem reicht es für die Leitflächenbetrachtung aus, wenn jeweils bei einem Kriterium der Grenzfall erreicht wird, gleichgültig ob die anderen Kriterien zusätzlich in den Extrembereich fallen. Für die Klassifizierung wurde deshalb ein Zuordnungsverfahren gewählt, bei dem die einzelnen Risiken dort zugeordnet werden, wo sie in besonders hervorstechendem Maß einen der möglichen Extremwerte erreichen oder überschreiten. Da das 3. Kriterium 3 Unterkategorien besitzt, gibt es insgesamt 11 theoretisch denkbare Fälle, bei denen der Grenzbereich erreicht bzw. überschritten werden kann. Diese Fälle sind in Tab. C 4-1 aufgeführt.

Der 1. Fall ist für globale Risiken nicht interessant, da ein Schadensereignis mit einer Wahrscheinlichkeit von nahezu 1 entweder lokal beschränkt ist oder aber sicher eine der vom Beirat bereits in früheren Gutachten verankerten Leitplanken überschreiten

würde (da die Folgen ja mit großer Sicherheit eintreffen würden). Große Schadenspotentiale mit einer Wahrscheinlichkeit nahe bei 1 dürften wohl kaum als akzeptabel eingestuft werden. Solche Risiken sind aber sehr selten. Es ist gerade das Kennzeichen der meisten anthropogenen Risiken, daß der Umfang des Schadens negativ mit der Höhe der Wahrscheinlichkeit korreliert. Je größer der Schaden, desto geringer ist meist die Wahrscheinlichkeit. Fall 1 kann also aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden, sofern er nicht mit einer großen Verzögerungswirkung verbunden ist. Dann aber trifft Fall 10 zu. Ebenso kann der 2. Fall aus unserer Analyse herausgenommen werden. Eine Eintrittswahrscheinlichkeit, die gegen 0 läuft, ist so lange völlig unbedenklich, solange das damit verbundene Schadenspotential nicht erheblich ist. Dieser Sonderfall einer kleinen Wahrscheinlichkeit verbunden mit einem sehr hohen Schadenspotential ist durch den Fall 3 bereits vorgezeichnet. Alle anderen Fälle sind für die Kennzeichnung Globaler Risiken von Bedeutung.

Nachfolgend werden die aus Fall 3–10 resultierenden Risikotypen jeweils mit Hilfe einer idealtypischen Tabelle beschrieben. In diesen idealtypischen Tabellen werden die relevanten Kriterien und deren Eigenschaften aufgeführt. Darin sind jeweils die Eintrittswahrscheinlichkeit, das Schadensausmaß, das Konfidenzintervall der Eintrittswahrscheinlichkeit und des Schadensausmaßes vertreten. Falls es die

Kriterium	Extremfall	Fall
Eintrittswahrscheinlichkeit W	Hoch (gegen 1)	1
	Gering (gegen 0)	2
Ausmaß der Schadensfolgen A	Gegen hoch	3
Abschätzungssicherheit	Bei Wahrscheinlichkeit gegen gering	4
	Beim Ausmaß gegen gering	5
Ubiquität	Globale Wirkung	6
Persistenz	Sehr lange Abbaurate	7
Irreversibilität	Schaden nicht rückholbar	8
Verzögerungswirkung	Verzögerung über sehr lange Zeiträume	9
Mobilisierungspotential	Hohe psychologische und politische Relevanz	10

Tabelle C 4-1
Extremfälle der
ausgewählten
Bewertungskriterien.
Quelle: WBGU

Charakterisierung des Risikotyps notwendig macht, ist ein weiteres relevantes Kriterium aus der obigen Auflistung hinzugezogen worden. Die Konfidenzintervalle von Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß drücken dabei die jeweilige Abschätzungssicherheit aus.

4.1 Risikotyp Damokles

Der 3. Fall aus Tab. C 4-1 ist theoretisch wie empirisch höchst relevant. Viele technische Risikoquellen sind mit einem sehr hohen Schadenspotential ausgestattet. Die Wahrscheinlichkeit, daß sich dieses Potential aber als Schaden manifestiert, ist denkbar gering. Kernkraftwerke, große Chemielager, Staudämme und Meteoriteneinschläge lassen sich hier als Beispiele nennen. Aus diesem Grund hat der Beirat diesen Fall als einen der zu behandelnden Risikotypen ausgewählt. Wesentliches Kennzeichen dieses Risikotyps ist das hohe Schadenspotential bei niedriger Eintrittswahrscheinlichkeit. Der Schaden kann zwar theoretisch zu jedem Zeitpunkt eintreten, dies ist aber aufgrund der jeweiligen Sicherheitsmaßnahmen kaum zu erwarten.

Diesem Typ wird der Name „Damokles“ gegeben (Renn, 1990). Dem griechischen Mythos zufolge war Damokles von seinem König zu einem Bankett eingeladen worden. Er mußte jedoch sein Essen unter einem scharf geschliffenen Schwert einnehmen, das nur an einem hauchdünnen Faden hing. Chance und Risiko hingen für Damokles eng zusammen, und das Damoklesschwert wurde zum Sinnbild für eine im Glück drohende Gefahr. Das Schadenspotential des Risikos für Damokles war das höchstmögliche, nämlich der Verlust seines Lebens. Aber andererseits war die Eintrittswahrscheinlichkeit denkbar gering, denn der Mythos berichtet, daß der Faden, der das Schwert hielt, nicht riß. Ähnlich wie Damokles unter einem Schwert essen mußte, das nur an einem dünnen Faden hing und jederzeit auf ihn herunterfallen konnte

(obwohl der Faden offensichtlich so stabil war, daß dieses Ereignis niemals eintrat), so ähnlich wirken auch viele Großtechnologien auf die Gesellschaft. Demgemäß ist mit diesem Risikotyp auch ein großer Mobilisierungseffekt auf die Bevölkerung verbunden.

Die Schadensfolgen sind in der Regel direkt, können aber bei stofflichen Emissionen auch erst in Zukunft virulent werden. Dagegen sind sowohl die Wahrscheinlichkeiten als auch die Schadensausmaße hinreichend gut bekannt. Natürlich verbleiben auch hier Ungewißheiten und nicht vorhersagbare Ereignismöglichkeiten. Verglichen aber mit anderen Risiken sind die Möglichkeiten des Schadenseintritts weitgehend wissenschaftlich erforscht und in ihrer kausalen Struktur verstanden (Tab. C 4.1-1).

4.2 Risikotyp Zyklus

Der 4. Fall aus Tab. C 4-1 bezieht sich auf eine hohe Unbestimmtheit gegenüber der Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit, während der maximale Schaden weitgehend bekannt ist. Eine Reihe von Naturereignissen wie Vulkanausbrüche und Überschwemmungen, aber auch das Auftreten von Seuchen fallen in diese Kategorie, sofern über die Eintrittswahrscheinlichkeit keine oder nur widersprüchliche Informationen vorliegen. Häufig fehlt es an ausreichenden Kenntnissen über die kausalen Einflußgrößen oder an ausreichenden Beobachtungszeiträumen, um zyklische Regelmäßigkeiten festzustellen. Hier sind auch die Ereignisse oder Entwicklungen zu fassen, bei denen der Mensch durch Eingriffe in die Umwelt die relativen Häufigkeiten natürlich ablaufender Prozesse verändert, wohingegen die Auswirkungen dieser Prozesse weitgehend bekannt und in ihrem Ausmaß auch abschätzbar sind. Durch anthropogene Klimaveränderungen hervorgerufene Veränderungen von Meeresströmungen können hier als Beispiel dienen. Ebenso lassen sich

Tabelle C 4.1-1
Idealtypische Tabelle für den Risikotyp Damokles. Legende s. Kasten C 4-1.
Quelle: WBGU

Kriterium	Eigenschaften				
	Gering	Eher gering	Eher hoch	Hoch	Ungewiß
Eintrittswahrscheinlichkeit <i>W</i>					<input type="checkbox"/>
Abschätzungssicherheit von <i>W</i>					<input type="checkbox"/>
Schadensausmaß <i>A</i>					<input type="checkbox"/>
Abschätzungssicherheit von <i>A</i>					<input type="checkbox"/>

Kasten C 4-1

Legende zu den Tabellen mit den Anwendungen der Kriterien auf Risikopotentiale

Die Tabellen erhalten Informationen zu 5 Dimensionen:

1. Die beiden klassischen Risikofaktoren *Eintrittswahrscheinlichkeit* und *Schadensausmaß*. Diese sind hier durch die beiden Größen *W* und *A* gekennzeichnet.
2. Die *Abschätzungssicherheit* dieser beiden Faktoren. Eine hohe Abschätzungssicherheit bedeutet, daß die Wahrscheinlichkeitsangabe für ein bestimmtes Schadensereignis (bzw. für eine bestimmte Schadenshöhe) oder die Angabe einer Schadenshöhe für eine bestimmte Wahrscheinlichkeit mit großer Verlässlichkeit getroffen werden können. Eine niedrige Abschätzungssicherheit bedeutet, daß die Angaben für die Wahrscheinlichkeit eines bestimmten Ereignisses oder umgekehrt die Schadenshöhe für eine bestimmte Wahrscheinlichkeit stark streuen. Im ersten Fall sind die Fehlerbalken um einen Wert auf der Schadensausmaß-Eintrittswahrscheinlichkeits-Funktion sehr klein, im 2. Fall sehr groß. In den Tabellen wird die Abschätzungssicherheit jeweils für die beiden Größen *W* und *A* angegeben.
3. Die *Gewißheit der Abschätzung* der beiden Faktoren. Ungewißheit herrscht dann vor, wenn entweder die Wahrscheinlichkeiten (Unbestimmtheit) oder die Schadenspotentiale (Ahnungslosigkeit) noch unbekannt sind. Allerdings müssen zumindest begründete Vermutungen vorliegen, daß Schäden zu erwarten sind. Bei Ungewißheit ist die Abschätzungssicherheit definitionsgemäß extrem gering (nahe 0). In den Tabellen wird Ungewißheit für jede Kenngröße getrennt aufgeführt.
4. Die Risikomerkmale *Ubiquität*, *Persistenz*, *Irreversibilität*, *Verzögerungswirkung* und *Mobilisierungspotential*. Alle diese Größen sind in den Tabellen getrennt behandelt.
5. Die *Streubreite zwischen den Risikoquellen* innerhalb einer Risikoklasse. Die meisten Tabellen werden für eine Klasse von Risiken (etwa Überschwemmungen) oder für ein Risiko in unterschiedlichen sozialen Kontexten vorgenommen (etwa BSE in England oder Deutschland). Da die einzelnen Risikoquellen innerhalb einer Klasse unterschiedliche Werte auf den einzelnen Kenngrößen annehmen können, ist die Streubreite zwischen den Risikoquellen innerhalb einer Klasse durch Schattierungen von grau bis schwarz in den Querspalten der Tabellen wiedergegeben. Je heller die Einstufung, desto

weniger Risikoquellen sind bei dieser Risikoklasse in der jeweiligen Rubrik zu erwarten. Je dunkler die Schattierung, desto eher nähert man sich dem Median der Risiken innerhalb einer Risikoklasse.

Auf der vertikalen Ebene der Tabellen sind die Abstufungen wiedergegeben. Sie reichen von gering bis hoch. Was gering bzw. hoch jeweils bedeutet, wird im folgenden noch einmal kurz erläutert:

- *Ungewiß:*
ungewiß heißt, daß eine Einordnung zwischen gering und hoch aufgrund der heutigen Kenntnisse nicht möglich ist und auch nicht durch sinnvoll angebbare Vertrauensintervalle (liegt mit 90%iger Wahrscheinlichkeit zwischen x und y) eingegrenzt werden kann
- *Eintrittswahrscheinlichkeit W:*
gering heißt „sehr unwahrscheinlich“ (gegen 0),
eher gering heißt „unwahrscheinlich“,
eher hoch heißt „wahrscheinlich“,
hoch heißt „sehr wahrscheinlich“ (gegen 1).
- *Schadensausmaß A:*
selbsterklärend.
- *Abschätzungssicherheit von W oder A:*
gering heißt „schlechte“ Abschätzungssicherheit,
eher gering heißt „noch relativ schlechte“ Abschätzungssicherheit,
eher hoch heißt „relativ gute“ Abschätzungssicherheit,
hoch heißt „gute“ Abschätzungssicherheit.
- *Ubiquität:*
gering heißt „lokal“,
eher gering heißt „regional“,
eher hoch heißt „grenzüberschreitend“,
hoch heißt „global“.
- *Persistenz:*
gering heißt „kurzfristig“ (<1 Jahr),
eher gering heißt „mittelfristig“ (1–15 Jahre),
eher hoch heißt „langfristig“ (15–30 Jahre),
hoch heißt „mehrere Generationen“ (>30 Jahre).
- *Irreversibilität:*
gering heißt „wiederherstellbar“,
eher gering heißt „weitgehend wiederherstellbar“,
eher hoch heißt „nur in Teilen wiederherstellbar“,
hoch heißt „unwiederbringlich“.
- *Verzögerungswirkung:*
selbsterklärend.
- *Mobilisierungspotential:*
gering heißt „politisch nicht relevant“,
eher gering „politisch eher nicht relevant“,
eher hoch heißt „politisch eher relevant“,
hoch heißt „politisch sehr relevant“.

in diese Kategorie eine Reihe von chemischen oder biologischen Risiken einordnen, bei denen das maximale Schadensausmaß bekannt, aber die Dosis-Wirkungs-Beziehung noch unklar bzw. umstritten ist. Dieser Risikotyp wird „Zyklop“ genannt. Die griechische Antike kannte Riesen, die trotz all ihrer Kraft damit gestraft waren, daß sie nur ein einziges, rundes Auge hatten, weshalb sie Rundaugen oder Zyklopen genannt wurden. Mit nur einem Auge läßt sich nur eine Seite der Wirklichkeit erfassen und damit keine räumliche Perspektive wahrnehmen. Mit Blick auf Risiken gelingt es nur, eine Seite zu bestimmen, während die andere ungewiß bleibt. Oft werden

im Ausmaß überschaubare Risiken, deren Eintrittswahrscheinlichkeit aber ungewiß ist oder sich laufend ändert, weitgehend unterschätzt. Dies geschieht um so eher, je größer der Verzögerungseffekt ist. Das Mobilisierungspotential ist gering. Die Auswirkungen können aber beachtlich sein, wenn Ubiquität und Persistenz hoch sind und der zu erwartende Schaden irreversibel ist (Tab. C 4.2-1).

Tabelle C 4.2-1
 Idealtypische Tabelle für den Risikotyp Zyklon. Legende s. Kasten C 4-1.
 Quelle: WBGU

Kriterium	Eigenschaften				
	Gering	Eher gering	Eher hoch	Hoch	Ungewiß
Eintrittswahrscheinlichkeit <i>W</i>					■
Abschätzungssicherheit von <i>W</i>					■
Schadensausmaß <i>A</i>					□
Abschätzungssicherheit von <i>A</i>					□

4.3
Risikotyp Pythia

Der 5. Fall aus Tab. C 4-1 bezeichnet ein Risiko, bei dem das Ausmaß des Schadenspotentials unbekannt ist. Folglich läßt sich auch die Eintrittswahrscheinlichkeit nicht genau bestimmen. Insofern geht man bei diesem Risikotyp von einer hohen Ungewißheit in Bezug auf die möglichen Schadenswirkungen und damit verbunden auch mit der Eintrittswahrscheinlichkeit für bestimmbar Schäden aus. Für diesen Typ wurde der Name „Pythia“ gewählt. Die Griechen des Altertums befragten in Zweifelsfällen ihre Orakel, deren bekanntestes das Orakel von Delphi mit der blinden Seherin Pythia war. Pythia berauschte sich an Gasen, um im dadurch hervorgerufenen Trancezustand Voraussagen und Ratschläge für die Zukunft geben zu können. Pythias Weissagungen waren jedoch zwei- oder mehrdeutig. Es wurde zwar deutlich, daß möglicherweise eine große Gefahr drohen konnte, nicht jedoch, wie groß deren Eintrittswahrscheinlichkeit, Schadensausmaß, Verteilung und Art des Schadens seien.

In diese Kategorie fallen Risiken, die mit der Möglichkeit plötzlicher nichtlinearer Klimaänderungen verbunden sind, etwa das Risiko eines sich aufschaukelnden Treibhauseffekts oder der Instabilität des westantarktischen Eisschildes, mit weit katastro-

phaleren Folgen als bei einer schleichenden Klimaänderung. Ebenso finden sich dort weitreichende technische Neuerungen in bestimmten Anwendungsbereichen der Gentechnik, bei denen weder das genaue Ausmaß der Risiken noch die Eintrittswahrscheinlichkeit für bestimmte Schadensereignisse bereits heute bekannt sind. Schließlich fallen in diese Kategorie auch chemische oder biologische Stoffe, bei denen man bestimmte Auswirkungen vermutet, aber weder das Ausmaß noch die Wahrscheinlichkeit genauer zu bestimmen sind. Bestes Beispiel dafür ist das BSE-Risiko.

Der 6. Fall aus Tab. C 4-1 betrifft die Globalität der Wirkungen. Dieser Fall braucht hier nicht besonders herausgehoben zu werden, da der Beirat ohnehin nur solche Risiken betrachtet, die globale Auswirkungen haben oder globales Handeln erfordern. Im übrigen korreliert die Ubiquität gleichzeitig eng mit der Persistenz (für chemische Stoffe ist Ubiquität eine Funktion von Persistenz und Mobilität; Tab. C 4.3-1).

4.4
Risikotyp Pandora

Eine Reihe von menschlichen Eingriffen in die Umwelt führt zu weitreichenden und lange andauernden Schadensereignissen. Typische Beispiele dafür sind

Tabelle C 4.3-1
 Idealtypische Tabelle für den Risikotyp Pythia. Legende s. Kasten C 4-1.
 Quelle: WBGU

Kriterium	Eigenschaften				
	Gering	Eher gering	Eher hoch	Hoch	Ungewiß
Eintrittswahrscheinlichkeit <i>W</i>					■
Abschätzungssicherheit von <i>W</i>					■
Schadensausmaß <i>A</i>					■
Abschätzungssicherheit von <i>A</i>					■

Tabelle C 4.4-1
 Idealtypische Tabelle für den Risikotyp Pandora. Legende s. Kasten C 4-1.
 Quelle: WBGU

Kriterium	Eigenschaften				
	Gering	Eher gering	Eher hoch	Hoch	Ungewiß
Eintrittswahrscheinlichkeit <i>W</i>					
Abschätzungssicherheit von <i>W</i>					
Schadensausmaß <i>A</i>					
Abschätzungssicherheit von <i>A</i>					
Ubiquität					
Persistenz					
Irreversibilität					

persistente organische Schadstoffe (POP) oder Veränderungen in Biosystemen, die über lange Zeiten stabil bleiben. In einer Expertise für den Beirat sind diese beiden Kategorien unter dem Begriff der Reichweite zusammengefaßt und mit quantitativen Maßen versehen worden (Müller-Herold, 1998).

Besondere Beachtung verdienen dabei die Risiken, bei denen gleichzeitig eine hohe Persistenz, Ubiquität und Irreversibilität (7. und 8. Fall aus Tab. C 4-1) gegeben sind. Sind diese beiden Kriterien erfüllt, ist dies auch ein Indikator dafür, daß eine Kompensationsfähigkeit für die aufgetretenen Schäden kaum vorliegen kann. Zwar gibt es einige Risiken, die lediglich persistent, aber keineswegs irreversibel sind (beispielsweise könnte man radioaktiven Abfall durch hohen Energieeinsatz in Isotope mit geringen Halbwertszeiten transformieren), aber die Großzahl der hier einzuordnenden Risiken ist durch hohe Werte der Kriterien Persistenz und Irreversibilität gekennzeichnet. Dabei spielt es kaum eine Rolle, ob die Folgen verzögert eintreten oder nicht. Der Beirat hat diese Risiken als „Pandora“ bezeichnet. Die alten Griechen erklärten viele Übel ihrer Zeit mit dem Mythos der Büchse der Pandora. Diese Büchse, die von der von Zeus geschaffenen schönen Pandora auf die Erde gebracht wurde, enthielt nur Übel. Solange die Übel in der Büchse blieben, war keinerlei Schaden zu befürchten. Wurde jedoch die Büchse geöffnet, wurden alle in ihr enthaltenen Übel freigesetzt, die irreversibel, persistent und ubiquitär die Erde heimsuchen. Die einmal freigesetzten Übel bilden eine ständige Bedrohung der Menschheit. Oft sind die Auswirkungen dieser Risiken noch unbekannt oder es gibt bestenfalls Vermutungen über ihre mögliche schädliche Wirkung. Das Ausmaß der Schäden geht zwar nicht gegen unendlich, ist aber groß genug, um eine gegensteuernde Risikopolitik zu rechtfertigen. Beispiele für diesen Risikotyp sind persistente Rückstände von Pflanzenschutzmitteln, Xenobiotika

und viele kulturell bedingte Risiken, sofern sie universell eingegangen werden, wie Konzentration auf einige wenige Getreidesorten, global sich ausbreitende Eß- und Lebensgewohnheiten und anderes mehr (Tab. C 4.4-1).

4.5 Risikotyp Cassandra

Der 9. Fall aus Tab. C 4-1 betrifft ein Risiko, bei dem zwischen dem auslösenden Ereignis und dem Schadensereignis eine relativ große Zeitspanne liegt. Dieser Fall ist natürlich nur dann von Interesse, wenn das Schadenspotential und die Eintrittswahrscheinlichkeit relativ hoch sind. Wäre das Zeitintervall kleiner, würde man selbstverständlich regulativ eingreifen (Risiko im Verbotsbereich). Durch die hohe Zeitspanne zwischen Auslöser und Folge wird aber der Eindruck der Sicherheit erzeugt. Vor allem läßt sich Inaktivität auch dadurch entschuldigen, daß man glaubt, man könne bis zum Eintritt des Schadens schon ein Gegenmittel finden. Beispiele für solche Effekte findet man sowohl im medizinischen als auch im geophysikalischen oder klimatischen Bereich. Ein Beispiel für einen solchen Effekt ist der schleichende anthropogene Klimawandel, der in vulnerablen Räumen wie Küsten- und Gebirgszonen schwere Schäden auslösen kann. Der Beirat hat diesen Typ „Kassandra“ genannt, weil den Warnern vor solchen Risiken selten Glauben geschenkt wird. Viele Schäden sind recht gewiß, liegen aber gleichwohl in so weiter Zukunft, daß vorerst niemand eine Bedrohung erkennen will. Dies war das Problem der Cassandra, einer Seherin der Trojaner, die zwar die Gefahr eines Sieges der Griechen korrekt voraussagte, aber doch von ihren Landsleuten nicht ernst genommen wurde. Der Risikotyp Cassandra stellt damit ein Paradox dar: Sowohl Eintrittswahrscheinlichkeit als auch

Tabelle C 4.5-1
 Idealtypische Tabelle für den Risikotyp Cassandra. Legende s. Kasten C 4-1.
 Quelle: WBGU

Kriterium	Eigenschaften					Ungewiß
	Gering	Eher gering	Eher hoch	Hoch		
Eintrittswahrscheinlichkeit <i>W</i>						<input type="checkbox"/>
Abschätzungssicherheit von <i>W</i>						<input type="checkbox"/>
Schadensausmaß <i>A</i>						<input type="checkbox"/>
Abschätzungssicherheit von <i>A</i>						<input type="checkbox"/>
Verzögerungswirkung						<input type="checkbox"/>

Schadenspotential sind schon bekannt, aber weil die Schäden erst nach langer Zeit auftreten werden, entsteht in der Gegenwart kaum Betroffenheit. Häufig haben Risiken vom Typ Cassandra auch relativ hohe Werte bei den Kriterien Ubiquität und Persistenz. Sie führen auch zu ungerechten Verteilungen in Bezug auf kommende Generationen (Verletzung der Nachhaltigkeit) (Tab. C 4.5-1).

4.6
Risikotyp Medusa

Der 10. Fall aus Tab. C 4-1 betrifft das Mobilisierungspotential. Diese Größe beschreibt das Ausmaß der individuellen Risikoaversion und des daraus mit verursachten politischen Protestpotentials, die beide mit dem Eingehen bestimmter Risiken in der Bevölkerung ausgelöst werden. Dieser Risikotyp ist nur dann von Interesse, wenn zwischen der Risikowahrnehmung und den Ergebnissen der Risikoanalyse durch Experten eine besondere Kluft herrscht. Sind beide Abschätzungen kongruent, laufen politische und wissenschaftliche Prioritätenbildung parallel. Werden von Experten als hoch angesehene Risiken in der Öffentlichkeit eher unterschätzt (wie bei vie-

len Genußmitteln oder bei Freizeitunfällen), dann ist hier die Risikopolitik aufgerufen, durch geeignete Kommunikation und Bildungsmaßnahmen auf die Gefährlichkeit hinzuweisen. Dieser Fall ist aber in unserer Typologie bereits erfaßt, weil Risiken, die von Experten als besonders bedrohlich eingestuft werden, mit Sicherheit eines der anderen Kriterien erfüllen würden. Allerdings neigen auch Experten dazu, sowohl die Risiken vom Typ Pandora als auch vom Typ Pythia als geringfügiger einzustufen als objektiv gerechtfertigt. Untersuchungen weisen nämlich darauf hin, daß Experten häufig die Sicherheit ihrer Aussagen überschätzen und ungern Wissenslücken zugeben oder Ungewißheiten in ihr Urteil aufnehmen. Insofern dient die hier vorgestellte Typologie auch als eine Art Merkliste für Risikoexperten und für Risikolaien, eine der Bedrohung adäquate Risikoerfassung und -bewertung vorzunehmen. Auch der Fall, daß Experten ein Risiko unterschätzen, während die Laien das richtige Gespür für die Bedrohung haben, ist in dieser Typologie enthalten.

Der umgekehrte Fall ist aber bislang noch nicht zum Tragen gekommen. Viele Risiken, die bei allen übrigen Kriterien eher niedrige Werte erhalten, werden häufig in der Öffentlichkeit als besonders bedrohlich angesehen. Dabei kommt es zum einen zu

Tabelle C 4.6-1
 Idealtypische Tabelle für den Risikotyp Medusa. Legende s. Kasten C 4-1.
 Quelle: WBGU

Kriterium	Eigenschaften					Ungewiß
	Gering	Eher gering	Eher hoch	Hoch		
Eintrittswahrscheinlichkeit <i>W</i>						<input type="checkbox"/>
Abschätzungssicherheit von <i>W</i>						<input type="checkbox"/>
Schadensausmaß <i>A</i>						<input type="checkbox"/>
Abschätzungssicherheit von <i>A</i>						<input type="checkbox"/>
Mobilisierungspotential						<input type="checkbox"/>

psychosomatischen Reaktionen und damit zu einer echten Manifestation von Schäden, zum anderen zu erheblichem Druck auf die Politik, diese Risiken vorrangig zu begrenzen. In der wissenschaftlichen Literatur werden solche von der Öffentlichkeit hochbewerteten Risiken häufig als „Phantomrisiken“ bezeichnet. Diese Begriffsbildung wird aber dem Phänomen nur z. T. gerecht. Die meisten als bedrohlich angesehenen Risiken sind solche, bei denen eine große Zahl von Menschen exponiert ist und schädliche Auswirkungen im Prinzip möglich sind, sich aber statistisch nicht nachweisen lassen. Wenn darüber hinaus auch keine klaren Schwellenwerte aus toxikologischen Experimenten vorliegen, wie dies bei genotoxischen Substanzen die Regel ist, dann lassen sich eine Vielzahl konkurrierender Modelle der Extrapolation von großen auf kleine Dosen theoretisch rechtfertigen, ohne daß eine eindeutige empirische Überprüfung und Verifikation möglich sind. In diesem Unsicherheitsspielraum wächst die Angst, da eindeutige Referenzpunkte fehlen und man weitgehend auf Informationen durch Experten angewiesen ist, die wiederum keine eindeutigen Stellungnahmen abgeben können.

Ein gutes Beispiel für diesen Effekt ist die Sorge um die krebserzeugende Wirkung von ionisierender Strahlung in geringer Konzentration. Das Wissen um die Möglichkeit von Krebserkrankungen aufgrund ionisierender Strahlung legitimiert zumindest den Verdacht, daß jeder Krebs in der Nähe eines Kernkraftwerkes durch die emittierende Strahlung erklärt werden kann. Wer an Krebs erkrankt ist oder mitansetzen muß, wie ein Mitglied der Familie oder des eigenen Freundeskreises von dieser Krankheit getroffen ist, sucht nach einer logischen und v. a. sinnvollen Erklärung. Metaphysische Erklärungsmuster haben in unserer säkularisierten Welt an Geltung verloren. Gleichzeitig befriedigt das nach heutigem Wissensstand bestmögliche Erklärungsmuster einer weitgehend zufälligen Verteilung von Krebserkrankungen das psychische Verlangen nach einer „sinnhaften“ Erklärung wenig. Wie trostlos ist es, das zufällige Opfer eines blinden Verteilungsmechanismus von Krankheit zu sein. Kennt man dagegen einen konkreten Grund, etwa Strahlenbelastung, Rauchen, falsche Ernährung usw., dann macht das Auftreten der Krankheit zumindest Sinn. Kann man darüber hinaus eigenes Verschulden ausschließen und Fremdverschulden als Ursache der Krankheit heranziehen, dann mag die Krankheit sogar einen sozialen Zweck erfüllen, nämlich die künftigen potentiellen Opfer zu alarmieren und gegen die Ursache des Übels anzukämpfen. Insofern haben solche Risiken Signalcharakter für soziale und politische Mobilisierung.

Um diesem komplexen Phänomen gerecht zu werden, hat der Beirat diesen Risikotyp als „Medusa“ beschrieben. Nach der griechischen Mythologie ist die Welt voller Gefahren, die den Menschen, Heroen und selbst den olympischen Göttern drohen. Besonders fürchterlich waren die imaginären Gorgonen. Medusa war eine der 3 grausamen Gorgonenschwestern, deren Anblick allein einen Menschen zu Stein werden ließ. Ähnlich wie die Gorgonen als Sagengestalten für die Griechen des Altertums Angst und Schrecken verbreiteten, so wirken auch manche neuartige Phänomene auf den modernen Menschen. Manche Innovationen werden abgelehnt, selbst wenn sie wissenschaftlich kaum als Bedrohung einzustufen sind; teils haben solche Phänomene sogar, wie einst die Furcht vor den nicht realen Gorgonenschwestern, ein besonders hohes Mobilisierungspotential in der Öffentlichkeit.

Ähnlich ist es mit vielen kleineren Gefahren, die öffentlich weit größer wahrgenommen werden, als sie wirklich sind, wenn sie sich nicht sogar als harmlos herausstellen. Oft sind die in diesem Typ zusammengefaßten Risiken Ausdruck eines generellen Unbehagens an der technischen Entwicklung, an den Formen von Modernisierung und Globalisierung und an der wahrgenommenen Fremdbestimmung der eigenen Lebenswelt. In dieser Situation werden Sündenböcke benötigt, auf die man dieses Unbehagen übertragen kann. Solche Sündenböcke sind keineswegs „Unschuldslämmer“, d. h. sie symbolisieren viele der Eigenschaften, die für das generelle Unbehagen verantwortlich sind. Gleichzeitig können sie aber jederzeit ausgewechselt werden, sofern andere Sündenböcke mental verfügbar sind oder aber die Bedenken so weit zerstreut werden konnten, daß eine Abkehr von dem jeweils ausgewählten Sündenbock unabdingbar erscheint (Tab. C 4.6-1).

Der Beirat will sich bewußt auch diesem schwierigen Risikotyp widmen, weil viele der Risiken, die zu diesem Typ gehören, oft mit erheblichen Zukunftschancen verbunden sind. Gelänge es, den berechtigten Anliegen der Bevölkerung nach Begrenzung und Beherrschung von Lebensrisiken Geltung zu verschaffen, ohne dabei aber erhebliche Kosten und Zeiträume zur Regulierung von Risiken mit geringem Schadenspotential zu investieren, könnte man eine effektive Risikopolitik mit einer aktiven Chancenwahrnehmung verbinden. Technische und organisatorische Innovationen würden sich wesentlich einfacher Bahn brechen, wenn in der Bevölkerung das Vertrauen in eine rationale und vorsorgende Risikopolitik gestärkt werden könnte. Dazu sind auf der einen Seite klare Vorgaben für die Risikobereiche erforderlich, bei denen der Normalbereich verlassen wird, und gleichzeitig ist eine Gelassenheit gegenüber den Risiken erforderlich, die sich eindeutig im

Normalbereich bewegen. Dazu soll auch dieses Gutachten beitragen.

4.7 Zusammenfassung

In der nachfolgenden Tab. C 4.7-1 sind die in diesem Kapitel beschriebenen 6 Risikotypen mit ihren relevanten Kriterien sowie deren Eigenschaften im Überblick zusammengefaßt und mit einigen ausgewählten Beispielen ergänzt, die u. a. in Kap. D näher behandelt werden.

Die 6 Typen erlauben eine Klassifikation von Risiken, die im Grenzbereich liegen (Abb. C 4.7-1). Dabei können sich Risiken im Lauf der Zeit von einem Typ zum anderen entwickeln. Ein Risiko des Pythia-Typs mag sich durch mehr Forschung und längere Erfahrung zum Typ Zyklon und von dort weiter zu einem Risiko im Normalbereich bewegen. Gleichzeitig

können Instrumente des Risikomanagements eine Verlagerung von einem Typ zum anderen bewirken.

Ein großer Teil der in den Kap. F und G vorgestellten Instrumente des Risikomanagements ist geradezu darauf ausgerichtet, Risiken aus den hier beschriebenen Typen in den Normalbereich zu transformieren. In Kap. D werden die Risikopotentiale systematisch daraufhin untersucht, ob sie den hier beschriebenen Risikotypen entsprechen. Gleichzeitig werden in den Kap. G und H Steuerungsinstrumente vorgeschlagen, die den jeweiligen Risikotypen angemessen sind.

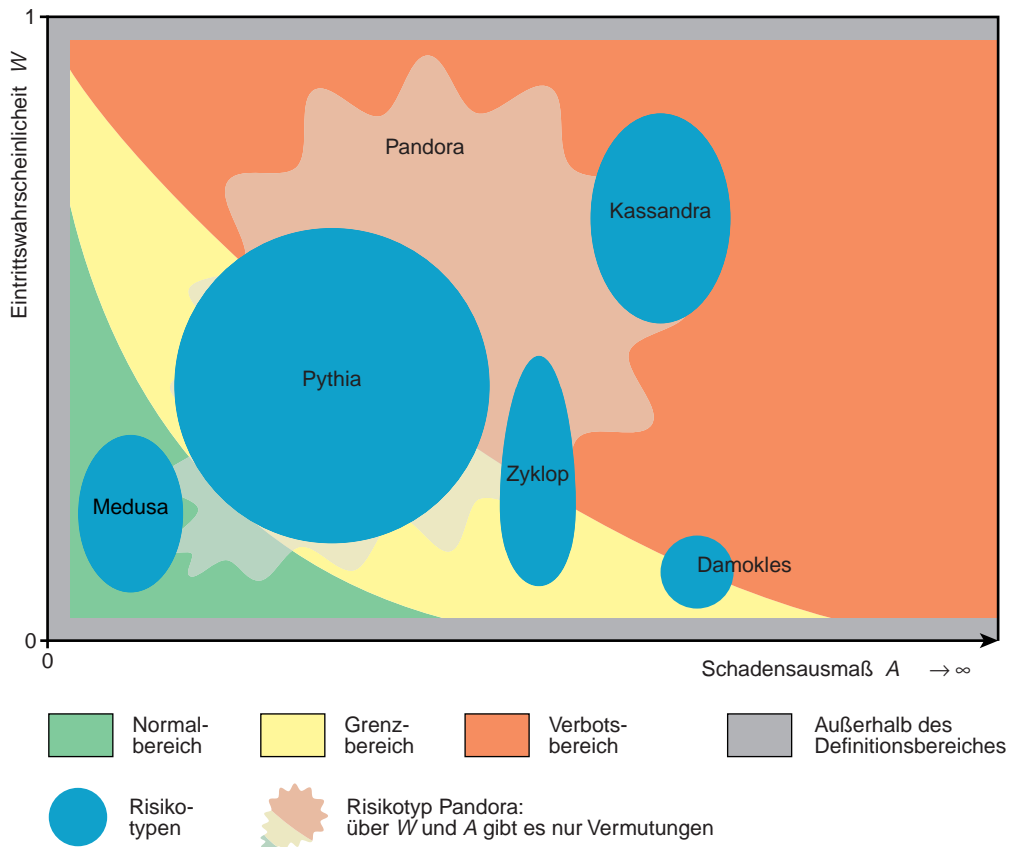


Abbildung C 4.7-1
 Risikotypen im Normal-, Grenz- und Verbotsbereich.
 Quelle: WBGU

Tabelle C 4.7-1

Die Risikotypen im Überblick: Charakterisierung und Beispiele. *W* Eintrittswahrscheinlichkeit, *A* Schadensausmaß.
Quelle: WBGU

Risikotyp	Charakterisierung	Beispiele
Damokles	<i>W</i> gering (gegen 0) Abschätzungssicherheit von <i>W</i> hoch <i>A</i> hoch (gegen unendlich) Abschätzungssicherheit von <i>A</i> hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Kernenergie • Großchemische Anlagen • Staudämme • Meteoriteneinschläge
Zyklop	<i>W</i> ungewiß Abschätzungssicherheit von <i>W</i> ungewiß <i>A</i> hoch Abschätzungssicherheit von <i>A</i> eher hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Überschwemmungen • Erdbeben • Vulkaneruptionen • AIDS-Infektion • Massenentwicklungen anthropogen beeinflusster Arten • Zusammenbruch der thermohalinen Zirkulation
Pythia	<i>W</i> ungewiß Abschätzungssicherheit von <i>W</i> ungewiß <i>A</i> ungewiß (potentiell hoch) Abschätzungssicherheit von <i>A</i> ungewiß	<ul style="list-style-type: none"> • Sich aufschaukelnder Treibhauseffekt • Freisetzung und Inverkehrbringen transgener Pflanzen • BSE/nv-CJD-Infektion • Bestimmte Anwendungen der Gentechnologie • Instabilität der westantarktischen Eisschilde
Pandora	<i>W</i> ungewiß Abschätzungssicherheit von <i>W</i> ungewiß <i>A</i> ungewiß (nur Vermutungen) Abschätzungssicherheit von <i>A</i> ungewiß Persistenz hoch (mehrere Generationen)	<ul style="list-style-type: none"> • Persistente organische Schadstoffe (POP) • Endokrin wirksame Stoffe
Kassandra	<i>W</i> eher hoch Abschätzungssicherheit von <i>W</i> eher gering <i>A</i> eher hoch Abschätzungssicherheit von <i>A</i> eher hoch Verzögerungswirkung hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Anthropogener schleichender Klimawandel • Destabilisierung terrestrischer Ökosysteme
Medusa	<i>W</i> eher gering Abschätzungssicherheit von <i>W</i> eher gering <i>A</i> eher gering (Exposition hoch) Abschätzungssicherheit von <i>A</i> eher hoch Mobilisierungspotential hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Elektromagnetische Felder

Umweltrisikopotentiale des Globalen Wandels

D

Niemals in der Geschichte der Menschheit haben die Eingriffe des Menschen in die Natur eine solche Reichweite erzielt wie heute. Der Mensch ist ein wesentlicher Faktor im System Erde geworden. In diesem Kapitel sollen solche Risikopotentiale behandelt werden, die 2 Bedingungen erfüllen. Zum einen müssen sie eine globale Wirkung entfalten, zum anderen aus einer unmittelbaren Mensch-Umwelt-Wirkungskette entstehen (Kap. C 2.4). Mensch-Mensch-Risiken werden in diesem Gutachten ausdrücklich nicht behandelt.

Der Mensch ist Verursacher und Betroffener globaler Umweltveränderungen zugleich. Diesen Bogen spannt auch die Beschreibung der Risikopotentiale: Die über die Umwelt vermittelten Gefahren sind entweder allein vom Menschen, wie z. B. bei technologischen Risiken, oder allein durch geologische oder extraterrestrische Vorgänge ausgelöst, wie z. B. ein Vulkanausbruch oder ein Meteoriteneinschlag. In beiden Fällen wird das Schadensausmaß für den Menschen wesentlich durch regionale Besonderheiten wie etwa die Besiedlungsdichte oder die zur Verfügung stehende Infrastruktur mitbestimmt. Zwischen diesen Polen liegen jedoch zahlreiche Risikopotentiale, die erst aus dem Zusammenspiel von Mensch und Natur entstehen, wie z. B. die natürliche Bildung eines neuen Krankheitserregers durch Mutation und dessen pandemisches Potential durch die globale Verbreitung durch den Menschen.

Die folgenden Einzelkapitel sind einheitlich aufgebaut. Nach einer Schilderung der Schadenspotentiale folgt die Darstellung des gegenwärtigen Umgangs mit dem Risiko. Dann wird auf Grundlage der in Kap. C erarbeiteten Kriterien eine Zuordnung zu den Risikotypen vorgenommen. Keinesfalls sind eine umfassende Darstellung eines Risikopotentials oder gar eine abschließende Beurteilung durch den Beirat vorgesehen. Vielmehr soll bei der Fülle der möglichen Umweltrisiken ein Weg aufgezeigt werden, wie über eine Risikotypisierung zu systematischem Handeln angeregt wird. Konsequenterweise werden daher in den folgenden Abschnitten auch Instrumente und Strategien für den Umgang mit den beschriebenen Risikotypen entwickelt.

2 Technologische Risiken

In diesem Kapitel geht es um die Schadenspotentiale global relevanter Technologierisiken und ihre Charakterisierung sowie den gegenwärtigen Umgang mit diesen Risiken. Alle in diesem Kapitel behandelten Technologierisiken wurden der Prüfung des in Kap. C 2.4.2 vorgestellten Globalfilters unterzogen, so daß diese exemplarisch angeführten technologischen Risiken nach Ansicht des Beirats globale Relevanz besitzen.

2.1

Kernenergie, großchemische Anlagen und Staudämme als exemplarische Risikopotentiale

Kernenergie

Über kaum eine Risikoquelle ist so viel geschrieben und gestritten worden wie über den Einsatz der Kernenergie zur Erzeugung von Wärme und elektrischem Strom. Das hier vorliegende Gutachten erhebt nicht den Anspruch, dieser Diskussion in wenigen Seiten gerecht zu werden, alle Argumente für und gegen Kernenergie Revue passieren zu lassen oder gar eine konkrete Empfehlung im Sinn „Kernenergie ja oder nein“ auszusprechen. Das Beispiel Kernenergie soll vielmehr als eine Illustration für einen Risikotyp dienen, der bei aller Bemühung um Risikoreduzierung weiterhin großes Unbehagen erzeugt. Dieses nährt sich zum einen aus den in Kap. C beschriebenen Wahrnehmungsfaktoren (Risikoverstärker), zum anderen aber auch aus besonderen physikalischen oder sicherheitstechnischen Eigenschaften des nuklearen Brennstoffkreislaufs, einschließlich Kernkraftwerken und Entsorgungseinrichtungen.

Zunächst ist die Kernenergie durch ein hohes Inventar an gesundheits- und umweltgefährdenden Substanzen gekennzeichnet: In einem Kernreaktor sind hohe Energiedichte und ein erhebliches Potential an strahlenden Spaltstoffen (Radionuklide) vereint (Borsch und Münch, 1983). Würde das gesamte Inventar eines modernen 1.200 MW Kernkraftwerkes freigesetzt (was aus physikalischen Gründen so gut wie ausgeschlossen ist), dann könnten im

schlimmsten Fall mehrere Millionen Menschen in ihrer Gesundheit betroffen und ganze Landstriche unbewohnbar werden. Aber auch eine teilweise Freisetzung dieses Materials, wie in Tschernobyl geschehen, führt zu international spürbaren Auswirkungen.

Die Risiken der Kernenergie sind nicht auf den Einsatz von spaltbarem Material in Reaktoren begrenzt. Der Kernbrennstoffkreislauf beginnt mit der Förderung von Natururan (oder Thorium) in Tage- oder Untertagebaubergwerken (Merz, 1983; Salander, 1995). Dort sind Arbeitskräfte in der Regel Radon oder entsprechenden Spaltfolgeprodukten ausgesetzt, was mit einem erhöhten Krebsrisiko verbunden ist (Arbeitsplatzrisiko). Das Natururan wird in einem 2. Schritt in eine Anreicherungsanlage gebracht, wo die Konzentrierung des spaltbaren Uran 235 auf 3% und höher (je nach Reaktortyp) erfolgt. Auch hier stehen weitgehend Risiken für das Betriebspersonal im Vordergrund des Interesses. Eine Freisetzung spaltbaren Materials durch Unfälle ist dagegen in diesem Schritt weitestgehend ausgeschlossen. Mit der Anreicherung verbunden ist in der Regel die Fabrikation von Brennelementen, die später in einem Kernreaktor „verbrannt“ werden. Damit eine Kettenreaktion überhaupt erfolgen kann, muß zunächst eine kritische Masse an spaltbarem Material in einem Reaktor vorhanden sein, und gleichzeitig müssen die freien Neutronen durch einen Moderator abgebremst werden, so daß diese überhaupt mit den Kernen der Uranatome zusammentreffen. Durch die Kernspaltung entsteht Wärme, die durch ein Kühlmittel aufgenommen und dann, wie bei einem herkömmlichen Kraftwerk, in kinetische und elektrische Energie umgewandelt wird.

In einem Reaktor treten neben den Risiken für das Betriebspersonal 2 weitere Risiken auf: Zum einen ist die Energiedichte in einem Reaktor außerordentlich hoch. Läßt sich die Kettenreaktion nicht mehr kontrollieren, dann kann es zu einer Kernschmelze kommen, durch die ein Teil des Brennstoffinventars in die Umgebung gelangen kann (Hocken, 1995). Wegen der hohen Radioaktivität der durch die Spaltung erzeugten Radionuklide kann eine Freisetzung des Inventars zu katastrophalen Folgen für die

menschliche Gesundheit ebenso wie für Fauna und Flora führen. Zum 2. werden im Kraftwerksbetrieb kleinere Mengen radioaktiver Partikel in die Umgebung abgegeben, die sich in Organismen anreichern können und damit direkt (Luft- und Wasserweg) oder indirekt (durch Nutzpflanzen, Fleisch oder Milch) zum Krebsrisiko des Menschen beitragen.

Sobald der Brennstoff in einem Reaktor zur Neige geht, werden die Brennstäbe nach einer Zwischenlagerung im Abklingbecken neben dem Reaktor in eine Wiederaufarbeitungsanlage, ein Zwischenlager oder ein Endlager gebracht. Da die in den Reaktorstäben konzentrierten Radionuklide hoch radioaktiv sind, müssen die Transporte in strahlensicheren Behältern durchgeführt werden. In Deutschland erfolgt dies mit Hilfe der sog. Castor-Behälter, die immer wieder und so auch 1998 Anlaß für heftige Kontroversen und Demonstrationen gewesen sind. Die Risiken dieser Transporte berühren 2 Dimensionen:

1. Die möglichen Folgen der Reststrahlung für Personal und direkt am Behälter sich aufhaltende Personen, da kein Behälter die Strahlungsemission vollständig zurückhalten kann, sowie die Belastung durch kontaminiertes Wasser, das sich bei Be- und Entladen der Behälter an der Außenhaut festsetzen kann.
2. Die möglichen Unfallrisiken, wenn ein Castor-Transporter in einen schweren Verkehrsunfall gerät.

Beide Risiken sind sehr klein. Die Integrität der Behälter ist auch bei größeren Unfällen gewährleistet, aber die Wahrscheinlichkeit für das Platzen eines Behälters ist nicht gleich Null.

Ist der Castor an einer Wiederaufarbeitungsanlage oder einem Lager angekommen, werden die Brennstäbe auseinandergeschnitten und je nach Endlagerkonzept konditioniert. Bei der Wiederaufarbeitung wird der noch reichlich vorhandene Brennstoff herausgelöst und für weitere neue Brennstoffe genutzt. Bei der direkten Endlagerung werden die konditionierten Abfälle zunächst in einem Zwischenlager aufbewahrt und dann in einem Endlager eingeschlossen. Bei der Wiederaufarbeitung konzentriert sich das Risiko auf die Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Umgebung, während bei der Zwischen- und v. a. bei der Endlagerung die Isolierung des Abfalls von der Biosphäre für sehr lange Zeiten (mehrere 1.000 Jahre) gewährleistet werden muß, um eine Verseuchung des Grundwassers und die damit verbundenen ökologischen sowie gesundheitlichen Schäden auszuschließen.

Daß bei der Nutzung der Kernenergie in allen Schritten Risiken auftreten, ist keine Besonderheit dieser Energiequelle. Auch bei der Nutzung von Kohle, selbst bei der Nutzung von Solarkollektoren

können spezifische Risiken in jedem Schritt des Kreislaufs identifiziert werden. Was aber die Kernenergie gegenüber den anderen Energieerzeugungsarten besonders auszeichnet, sind zum einen das hohe Schadensausmaß, das Mensch und Natur bei einer Freisetzung des Inventars bedrohen würde, und zum anderen die langen Zeiträume, über die man ein Risikomanagement betreiben muß, um die Risiken der Endlagerung zu beherrschen (Kröger, 1998). Beide Kennzeichen der Kernenergie machen sie zu einem Paradebeispiel des Risikotyps Damokles, weil bei dieser Technologie das Katastrophenpotential sehr hoch, die Eintrittswahrscheinlichkeit des Eintreffens einer solchen Katastrophe aber außerordentlich klein ist (Tab. D 2.1-1). Denn die Sicherheitstechniker haben einen enormen Aufwand betrieben, um die Freisetzung des Inventars auf allen Stationen des Brennstoffkreislaufes so weit wie möglich zu reduzieren oder sogar zu verhindern. So müssen moderne westliche Reaktoren so gebaut werden, daß sie auch bei einem Kühlmittelverlust nicht überhitzen und damit eine Kernschmelze auslösen. Alle sicherheitsrelevanten Einrichtungen sind mehrfach und divers ausgelegt, um bei Störung einer Komponente genügend Reserve für die entsprechende Sicherheitsfunktion zu besitzen (Borsch und Münch, 1983). Auch bei den heute diskutierten Konzepten für die Endlagerung werden mehrere Sicherheitsbarrieren miteinander kombiniert, um eine Verschmutzung des Grundwassers nach menschlichem Ermessen auszuschließen.

Die heftige Kontroverse um die Kernenergie läßt sich daher auf die Auseinandersetzung um eine Grundfrage reduzieren: Kann und soll die Gesellschaft auf technische Maßnahmen zur Reduzierung von Eintrittswahrscheinlichkeiten bis auf nahe Null vertrauen und dabei auch die Möglichkeit der Freisetzung großer Katastrophenpotentiale in Kauf nehmen oder soll sie lieber auf Techniken setzen, die ein geringeres Inventar an Gefährdungen aufweisen und damit auch beim Versagen aller Sicherheitsvorkehrungen, so ausgefeilt sie auch sein mögen, keine schwerwiegenden Auswirkungen auf Mensch und Umwelt haben?

Ein Verzicht auf Technologien mit hohem Katastrophenpotential ist nur dann sinnvoll, wenn nützengleiche Alternativen mit geringerem Katastrophenpotential zur Verfügung stehen (Kröger, 1991). Dies ist aber bei der Kernenergie mehr als zweifelhaft. Anders als bei fossilen Energieträgern ist die Reichweite der Energieversorgung durch Kernenergie nahezu unbegrenzt. Während fossile Brennstoffe beim heutigen Verbrauch in 2–3 Jahrhunderten bis auf schwer gewinnbare Restbestände verbraucht sein werden, könnte die Welt beim Einsatz von Wiederaufarbeitung und Brutreaktoren mindestens 600,

wenn nicht sogar 1.000 Jahre den größten Teil ihres Strombedarfs durch Kernenergie decken (zur Berechnung der Reserven: Salander, 1995). Zum zweiten emittieren Kernkraftwerke zwar in geringen Mengen radioaktive Substanzen (wodurch schlimmstenfalls erhöhte Gesundheitsrisiken, aber keine ökologischen Risiken ausgelöst werden), sie stoßen aber keine umwelt- oder klimaschädigenden Stoffe aus, d. h. sie vermeiden eine Reihe von wichtigen und ebenfalls potentiell katastrophalen Umweltrisiken, die bei fossilen Energieträgern auftreten (Kröger, 1998). Zum dritten ist der Nachteil der hohen Energiedichte auch ein wichtiger Vorteil: pro Einheit erzeugter Energie sind der Flächenbedarf und der Materialverbrauch wesentlich geringer als bei allen anderen Energieträgern.

Die regenerativen Energiequellen vermeiden die meisten der durch Kernenergie oder auch fossile Energieträger verbundenen Risiken, auch wenn diese umweltfreundlichen Energieträger nicht risikolos sind, wenn man den gesamten Brennstoff- bzw. Stoffkreislauf mit einbezieht. Für eine rationale Energiepolitik stellt sich die Frage, ob man im Sinn der Nachhaltigkeit für die Energieversorgung der nachfolgenden Generationen alle Hoffnung auf die regenerativen Energiequellen oder lieber auf „zwei Pferde“ setzen und neben den regenerativen Quellen auch die Kernenergie mit in das Energieangebot der Zukunft aufnehmen sollte – auch mit der möglichen katastrophalen Folge eines schweren Reaktorunfalls. Der Beirat möchte zu dieser Frage keine Empfehlung aussprechen: Sie ist pauschal nicht zu beantworten. Kernkraftwerke in einem von hohem institutionellem Versagen geprägten Land sind sicherlich anders zu beurteilen als in einem anderen, institutionell funktionsfähigen und technisch wie organisatorisch leistungsfähigen Land. Gleichzeitig ist der Beirat der Meinung, daß diese Frage nicht durch wissenschaftliche Begutachtung allein, sondern nur auf der Grundlage eines Konsenses in der Gesellschaft entschieden werden kann.

Wenn auch der Beirat keine Empfehlung in Richtung auf die Akzeptabilität der Kernenergie aussprechen möchte, so erscheint ihm doch wesentlich, auf einige Verfahrensvorschläge hinzuweisen, die eine rationale und verantwortbare Risikopolitik bei technischen Risikoquellen mit hohem Katastrophenpotential vorantreiben können. Zum einen kann man den problematischen Aspekt des Katastrophenpotentials direkt angehen und nach technischen Lösungen suchen, die eine erhebliche Verringerung des Katastrophenpotentials, d. h. des Gefährdungsinventars, mit sich bringen. Geringere Energiedichte, mehr physikalisch schlüssige Sicherheitsvorkehrungen, geringeres Brennstoffinventar und Modulisierung von Reaktoren (ohne Verkopplung) sind Stichworte ei-

ner neuen Reaktorphilosophie, bei der nicht nur wie bisher die Eintrittswahrscheinlichkeit weiter reduziert, sondern v. a. das maximale Ausmaß der Katastrophe begrenzt werden. Gleichzeitig könnte man durch entsprechende Reaktorarchitektur die langlebigen Radionuklide so bestrahlen, daß Nuklide mit geringerer Halbwertszeit entstehen, die eine Endlagerungssicherheit für nur wenige Jahrhunderte oder noch kürzere Zeiträume erforderlich machen. Durch diese Maßnahmen würde der Atomstrom teurer werden, aber der Ausschluß katastrophaler Folgen selbst beim denkbar ungünstigsten Fall stellt einen besonderen Wert für die Volkswirtschaft als Ganzes dar, der die Mehrkosten im Regelfall rechtfertigen sollte.

Läßt sich das Katastrophenpotential auch bei bester Bemühung nicht sinnvoll oder nur unter exorbitanten Kosten reduzieren, dann ist aus Sicht des Beirats eine solche Risikoquelle nur dann zu genehmigen, wenn einerseits der Nutzen dieser Risikoquelle existentiell bedeutsam ist und andererseits sichergestellt werden kann, daß technisch, institutionell und organisatorisch alle Möglichkeiten genutzt werden, um den Katastrophenfall erst gar nicht eintreten zu lassen und, sofern er doch eintreten sollte, die Schäden im Katastrophenfall so weit wie möglich zu lindern. Diese zweite Voraussetzung ist besonders dann wichtig, wenn solche Risikoquellen im Rahmen des Technologietransfers ins Ausland exportiert werden sollen.

Großchemische Anlagen und Staudämme

Die Kernenergie ist nicht der einzige Vertreter des Risikotyps Damokles. Viele großchemische Werke, Lagerstätten oder Verarbeitungszentren sind durch große Katastrophenpotentiale bei geringer Eintrittswahrscheinlichkeit des Schadens charakterisiert. Solche Risikoquellen stehen seltener im Brennpunkt des öffentlichen Interesses, sind aber in ihrer Struktur den kerntechnischen Anlagen verwandt. So ereignete sich beispielsweise 1984 in Bhopal (Indien) eine Katastrophe mit über 2.500 Toten und 150.000 Verletzten, bei der toxische Gase aus der Pestizidproduktion freigesetzt wurden. Und in Mexiko-City kam es 1984 durch eine Flüssiggasexplosion zu einer Katastrophe mit 498 Toten und 7.000 Verletzten.

Ähnliches gilt für große Staudämme: Die Unfallwahrscheinlichkeit ist äußerst gering, das Schadensausmaß einer Katastrophe beim Bruch einer Stauwand ist hingegen beträchtlich, wie das Beispiel des Bruchs des Großen Tetondamms im Jahr 1976 veranschaulicht (Perrow, 1984). Das Unfallrisiko steigt noch, wenn der Staudamm in erdbebengefährdeten oder geologisch unsicheren Gebieten gebaut wird. Im Fall des Coloradostaudamms kam es nach der Fertigstellung 1935 in den darauffolgenden 10 Jahren zu ungefähr 6.000 kleineren Beben und beim Kariba-

damm, der den Sambesi zwischen Sambia und Simbabwe aufstaut, wurden gravierende Störungen durch den unsicheren Untergrund festgestellt (Perrow, 1984). Zu einer beträchtlichen Katastrophe kam es beim Koynadamm in Indien, als ein schweres Erdbeben zu einem Dambruch führte.

Gemeinsame Merkmale

Was sind die gemeinsamen Merkmale aller dieser Risikoquellen? Schon angesprochen wurde die Kombination von hohem Katastrophenpotential und geringer bis extrem niedriger Eintrittswahrscheinlichkeit. Anders als bei den später zu behandelnden Techniken, wie etwa bestimmten gentechnischen Anwendungen, sind aber die beiden zentralen Risikokriterien, nämlich Ausmaß und Wahrscheinlichkeit, relativ gut bekannt. Der Grad der Ungewißheit ist gering, die verbleibenden Unsicherheiten können durch entsprechende statistische Verfahren relativ genau (z. T. allerdings nur durch Expertenurteile) abgeschätzt werden. Beim Kriterium der Ubiquität sind mittlere bis hohe Werte zu erwarten. Die geografische Ausdehnung der Folgen einer Katastrophe, die von diesen Technologierisiken ausgeht, überschreitet oft Landesgrenzen. Während der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl waren die skandinavischen Länder durch die vorherrschende Windrichtung viel mehr betroffen als etwa die genauso weit entfernten westeuropäischen Staaten. Staudämme bei grenzüberschreitenden Flüssen sind oft nahe den Grenzen angesiedelt, z. B. der Gabcikovostaudamm an der Donau im ungarisch-slowakischen Grenzgebiet (WBGU, 1998a). Kommt es dann zu Überflutungen bei Dambrüchen, sind beide Länder betroffen. Großchemische Anlagen werden aus technischen Gründen an Gewässern (z. B. Rhein) gebaut, die wiederum häufig Grenzgewässer zu Nachbarstaaten bilden. Damit steigt die Wahrscheinlichkeit, daß bei einem Unfall auch diese benachbarten Staaten in Mitleidenschaft gezogen werden. Der Störfall bei Basel 1986 zog eine grenzüberschreitende Verschmutzung des Rheins nach sich.

Da gerade bei Katastrophen in Kernkraftwerken oder großchemischen Anlagen auch Stoffe oder Energie freigesetzt werden können, treten Probleme der Persistenz und der Irreversibilität auf. So sind bei der teilweisen Freisetzung des Spaltstoffinventars nach einer Reaktorkatastrophe aufgrund der z. T. hohen Halbwertszeit der Nuklide ganze Landstriche zumindest für mehrere Jahrzehnte unbewohnbar. Für die Freisetzung von Stoffen bei Unfällen in chemischen Anlagen gilt ähnliches, die biologisch wirksamen Halbwertszeiten sind zwar z. T. geringer, aber dennoch sind Menschen über viele Jahre, wenn nicht sogar Jahrzehnte davon betroffen.

Viele Schädigungen durch nukleare Unfälle beim Menschen und in den ökologischen Systemen sind irreversibel und oftmals auch nicht kompensierbar, d. h. der ursprüngliche Zustand vor der Katastrophe ist nicht wiederherstellbar. Radioaktive Strahlung und viele chemische Substanzen gefährden nicht nur die Gesundheit der exponierten Personen, sondern können auch Veränderungen in der Erbsubstanz auslösen, die sich nachteilig auf kommende Generationen auswirken. Die negativen Folgen von Staudammbrüchen sind ebenfalls nur über längere Zeiträume wiederherstellbar. Die überfluteten Gebiete bei Staudammbrüchen in den 60er und 70er Jahren haben sich allerdings zumindest teilweise wieder erneuert. Verluste an Menschenleben lassen sich natürlich nicht wieder gut machen und nur unangemessen durch Kompensationszahlungen ausgleichen.

Mit diesen 3 Technologien ist in der Regel ein sehr hohes Mobilisierungspotential verbunden. Das Mobilisierungspotential liegt zum einen darin, daß bei geplanten Staudammprojekten Menschen umgesiedelt werden müssen, die dann gegen diese Maßnahmen protestieren (z. B. Dreischluchtenstaudamm in China; WBGU, 1998a). In einigen Fällen protestieren Menschen gegen die Folgen des Staudammbaus, wie im Fall des geplanten Donaukraftwerks Gabcikovo, wo Umweltschützer gegen die Gefährdung der Trinkwasserbestände in Budapest demonstrierten. Es gibt mittlerweile kein großes Staudammvorhaben mehr, bei dem nicht regionaler und internationaler koordinierter Widerstand durch ein Netzwerk von NRO geleistet wird (McCully, 1996). Ein gutes Beispiel hierfür bietet Indien mit den Narmadastaudammprojekten. Inzwischen hat nicht zuletzt diese Kritik an den ökologischen und sozialen Folgen vieler Megadämme dazu geführt, daß in den USA große Dammbauprojekte als nicht mehr durchführbar gelten und entsprechende Auflagen für Kreditvergaben der Weltbank erheblich verschärft worden sind (IUCN und Weltbank, 1997).

Schwerwiegende Unfälle bei großchemischen Anlagen mobilisieren die Bevölkerung in noch größerem Ausmaß, wie die Proteste nach dem Unfall bei Sandoz (Schweiz) zeigten. Besonders ausgeprägt ist das Mobilisierungspotential in Bezug auf Kernenergie. Viele Menschen fühlen sich durch den Ausbau der Kernenergie existentiell bedroht, sie leisten z. T. zivilen Ungehorsam oder entziehen den politischen Entscheidungsträgern ihr Vertrauen (Renn, 1984; Medvedev, 1991). Selbst wenn es gelingen sollte, die Katastrophenpotentiale der Kernenergie erheblich zu reduzieren, wird man auch in Zukunft mit einem hohen Mobilisierungsgrad rechnen müssen.

Tabelle D 2.1-1
 Anwendung der Kriterien auf das Risikopotential von Kernenergie. Es gehört zum Risikotyp Damokles.
 Legende s. Kasten D 2.1-1.
 Quelle: WBGU

Kriterium	Eigenschaften				
	Gering	Eher gering	Eher hoch	Hoch	Ungewiß
Eintrittswahrscheinlichkeit <i>W</i>					<input type="checkbox"/>
Abschätzungssicherheit von <i>W</i>					<input type="checkbox"/>
Schadensausmaß <i>A</i>					<input type="checkbox"/>
Abschätzungssicherheit von <i>A</i>					<input type="checkbox"/>
Ubiquität					<input type="checkbox"/>
Persistenz					<input type="checkbox"/>
Irreversibilität					<input type="checkbox"/>
Verzögerungswirkung					<input type="checkbox"/>
Mobilisierungspotential					<input type="checkbox"/>

2.2
Risiken von Frühwarnsystemen von Nuklearwaffen und Risiken von ABC-Waffensystemen

In diesem Teil geht es nicht um technische Risiken, die sich aus Fabrikation, Transport oder Lagerung ergeben, sondern um Risikopotentiale eines unbeachtigten Unfalls, ungenügender Wartung und mißbräuchlicher Verwendung. Diese Risiken liegen in Atomwaffenfrühwarnsystemen (Frühwarnsysteme von biologischen und chemischen Waffen gibt es nicht) sowie in atomaren, biologischen und chemischen Waffen (ABC-Waffen). Militärische Atomwaffenfrühwarnsysteme bergen ein Risikopotential, da sie zu einer irrtümlichen Anwendung von Atomwaffen führen können. Die Frühwarnsysteme dienen dazu, Interkontinental- und Mittelstreckenraketen aufzuklären, um frühzeitig mit Gegenmaßnahmen, etwa der Anwendung von Atomwaffen, zu reagieren. Während bei Interkontinentalraketen davon ausgegangen werden kann, daß sie mit Kernwaffen bestückt sind, läßt die Erfassung und Telemetrie des Starts von Mittelstreckenraketen noch keine sichere Vermutung über deren Bestückung zu. In Europa existieren inzwischen keine Mittelstreckenraketen mehr: Die amerikanischen und russischen Mittelstreckenraketen sind aufgrund des INF-Vertrags (1987) gänzlich beseitigt worden, die französischen aufgrund einer Entscheidung des französischen Präsidenten (1997). Bei den ABC-Waffen geht es nicht um Risiken der Früherkennung, sondern um die schlechte Wartung, den Mißbrauch und die Verwendungsmöglichkeit im Kriegsfall. In beiden Fällen

können technische, organisatorische und personelle Defizite die Risikopotentiale erhöhen (Sagan, 1993).

Atomwaffenfrühwarnsysteme

Das Risikopotential von Atomwaffenfrühwarnsystemen entsteht durch die Verkettung zweier Technologien, der Nuklearwaffen und der Technik des Frühwarnsystems. Die Risiken der Herstellung und des Transports von Nuklearwaffen entsprechen denen der zivilen Nutzung der Kernenergie (Kap. D 2.1). Hinzu kommt selbstverständlich das Risiko ihrer möglichen Verwendung. Die Technik des Frühwarnsystems erhält erst dadurch ihr Risikopotential, daß sie mit den technologischen Risiken von Kernwaffen gekoppelt ist. Zwar führt ein Frühwarnsystem bei Erkennung von feindlichen Atomwaffen nicht automatisch zur Anwendung von Nuklearwaffen, dennoch kann es bei Lücken im technischen System der Frühwarnung oder bei falscher Auswertung von Information zu einer irrtümlichen Anwendung von Atomwaffen kommen, wie dies im Fall des russischen Frühwarnsystems zu befürchten ist (Müller und Frank, 1997).

Müller und Frank (1997) stellten in ihrer Studie fest, daß das russische Frühwarnsystem und die dazugehörigen Atomstreitkräfte erhebliche Mängel in den Funktionen und der Wartung aufweisen. Teile des Frühwarnsystems sind durch die Aufsplitterung der ehemaligen Sowjetunion verlorengegangen. Mehrere Satelliten werden nicht mehr genutzt, weil die erforderliche Wartung fehlt. Andere Satelliten und Datenverarbeitungseinrichtungen fallen immer wieder wegen Stromknappheit aus. Dadurch entstehen Lücken im technischen Frühwarnsystem. Nach dem Ende des Ost-West-Konflikts besteht parado-

Kasten D 2.1-1

Legende zu den Tabellen mit den Anwendungen der Kriterien auf Risikopotentiale

Die Tabellen erhalten Informationen zu 5 Dimensionen:

1. Die beiden klassischen Risikofaktoren *Eintrittswahrscheinlichkeit* und *Schadensausmaß*. Diese sind hier durch die beiden Größen *W* und *A* gekennzeichnet.
2. Die *Abschätzungssicherheit* dieser beiden Faktoren. Eine hohe Abschätzungssicherheit bedeutet, daß die Wahrscheinlichkeitsangabe für ein bestimmtes Schadensereignis (bzw. für eine bestimmte Schadenshöhe) oder die Angabe einer Schadenshöhe für eine bestimmte Wahrscheinlichkeit mit großer Verlässlichkeit getroffen werden können. Eine niedrige Abschätzungssicherheit bedeutet, daß die Angaben für die Wahrscheinlichkeit eines bestimmten Ereignisses oder umgekehrt die Schadenshöhe für eine bestimmte Wahrscheinlichkeit stark streuen. Im ersten Fall sind die Fehlerbalken um einen Wert auf der Schadensausmaß-Eintrittswahrscheinlichkeits-Funktion sehr klein, im 2. Fall sehr groß. In den Tabellen wird die Abschätzungssicherheit jeweils für die beiden Größen *W* und *A* angegeben.
3. Die *Gewißheit der Abschätzung* der beiden Faktoren. Ungewißheit herrscht dann vor, wenn entweder die Wahrscheinlichkeiten (Unbestimmtheit) oder die Schadenspotentiale (Ahnungslosigkeit) noch unbekannt sind. Allerdings müssen zumindest begründete Vermutungen vorliegen, daß Schäden zu erwarten sind. Bei Ungewißheit ist die Abschätzungssicherheit definitionsgemäß extrem gering (nahe 0). In den Tabellen wird Ungewißheit für jede Kenngröße getrennt aufgeführt.
4. Die Risikomerkmale *Ubiquität*, *Persistenz*, *Irreversibilität*, *Verzögerungswirkung* und *Mobilisierungspotential*. Alle diese Größen sind in den Tabellen getrennt behandelt.
5. Die *Streubreite zwischen den Risikoquellen* innerhalb einer Risikoklasse. Die meisten Tabellen werden für eine Klasse von Risiken (etwa Überschwemmungen) oder für ein Risiko in unterschiedlichen sozialen Kontexten vorgenommen (etwa BSE in England oder Deutschland). Da die einzelnen Risikoquellen innerhalb einer Klasse unterschiedliche Werte auf den einzelnen Kenngrößen annehmen können, ist die Streubreite zwischen den Risikoquellen innerhalb einer Klasse durch Schattierungen von grau bis schwarz in den Querfeldern der Tabellen wiedergegeben. Je heller die Einstufung, desto

weniger Risikoquellen sind bei dieser Risikoklasse in der jeweiligen Rubrik zu erwarten. Je dunkler die Schattierung, desto eher nähert man sich dem Median der Risiken innerhalb einer Risikoklasse.

Auf der vertikalen Ebene der Tabellen sind die Abstufungen wiedergegeben. Sie reichen von gering bis hoch. Was gering bzw. hoch jeweils bedeutet, wird im folgenden noch einmal kurz erläutert:

- *Ungewiß:*
ungewiß heißt, daß eine Einordnung zwischen gering und hoch aufgrund der heutigen Kenntnisse nicht möglich ist und auch nicht durch sinnvoll angebbare Vertrauensintervalle (liegt mit 90%iger Wahrscheinlichkeit zwischen *x* und *y*) eingegrenzt werden kann
- *Eintrittswahrscheinlichkeit W:*
gering heißt „sehr unwahrscheinlich“ (gegen 0),
eher gering heißt „unwahrscheinlich“,
eher hoch heißt „wahrscheinlich“,
hoch heißt „sehr wahrscheinlich“ (gegen 1).
- *Schadensausmaß A:*
selbsterklärend.
- *Abschätzungssicherheit von W oder A:*
gering heißt „schlechte“ Abschätzungssicherheit,
eher gering heißt „noch relativ schlechte“ Abschätzungssicherheit,
eher hoch heißt „relativ gute“ Abschätzungssicherheit,
hoch heißt „gute“ Abschätzungssicherheit.
- *Ubiquität:*
gering heißt „lokal“,
eher gering heißt „regional“,
eher hoch heißt „grenzüberschreitend“,
hoch heißt „global“.
- *Persistenz:*
gering heißt „kurzfristig“ (<1 Jahr),
eher gering heißt „mittelfristig“ (1–15 Jahre),
eher hoch heißt „langfristig“ (15–30 Jahre),
hoch heißt „mehrere Generationen“ (>30 Jahre).
- *Irreversibilität:*
gering heißt „wiederherstellbar“,
eher gering heißt „weitgehend wiederherstellbar“,
eher hoch heißt „nur in Teilen wiederherstellbar“,
hoch heißt „unwiederbringlich“.
- *Verzögerungswirkung:*
selbsterklärend.
- *Mobilisierungspotential:*
gering heißt „politisch nicht relevant“,
eher gering heißt „politisch eher nicht relevant“,
eher hoch heißt „politisch eher relevant“,
hoch heißt „politisch sehr relevant“.

xerweise das Risiko nicht in der Schlagkraft der russischen Atomstreitkräfte, sondern vielmehr in ihrem Verfall.

ABC-Waffensysteme

Das Risikopotential der Herstellung von ABC-Waffen ist vergleichbar mit den Risiken der zivilen Nutzung von Kernenergie und großchemischer Anlagen (Kap. D 2.1). Darüber hinaus besteht das Risiko eines Unfalls oder einer mißbräuchlichen Verwendung. Die internationalen Abrüstungsbemühungen für atomare, biologische und chemische Massenver-

nichtungswaffen unterscheiden sich erheblich (Brauch, 1997).

Verpflichtungen zur Abrüstung von Kernwaffen bestehen bisher durch die bilateralen amerikanisch-sowjetischen bzw. amerikanisch-russischen (seit 1992) Verträge bei Mittelstreckensystemen (INF) und bei strategischen Kernwaffenträgern (START I und II). Das Lissaboner Zusatzprotokoll zum START-I-Vertrag bezieht auch die Ukraine, Kasachstan und Weißrußland mit ein. Seit 1968 verbietet der Vertrag über die Nichtverbreitung von Kernwaffen (NVV), den inzwischen 186 Staaten unterzeichneten, die Weitergabe von Kernwaffen (Auswärtiges Amt,

1997). Die Staaten Indien, Pakistan, Israel und Kuba gehören dem Vertrag jedoch nicht an. Gerade die jüngsten Atomwaffentests in Indien und Pakistan im Frühsommer 1998 belegen das dadurch weiterhin bestehende Risiko.

Bei den chemischen Waffen, die jahrelang nur partielle Regelungen aufwiesen, ist seit April 1997 ein Übereinkommen über deren Verbot in Kraft, das derzeit implementiert wird. Das multilaterale Verifikationsregime überwacht die Abrüstung der vorhandenen chemischen Waffen und deren Weitergabe, den Abbau der Produktionsanlagen und die Nichtproduktion in der zivilen Industrie. Mit diesem Übereinkommen über das Verbot chemischer Waffen (CWÜ), das von den USA und der Russischen Föderation als weltweit größten Chemiewaffenländern sowie 111 weiteren Staaten ratifiziert wurde, gelang ein wichtiger Schritt auf dem Weg zu einer universellen Abrüstung chemischer Waffen (Auswärtiges Amt, 1997).

Ein erstes Verbot des Einsatzes biologischer Waffen enthält das Genfer Giftgasprotokoll von 1925. Im Jahr 1972 kam das Übereinkommen über das Verbot biologischer Waffen (BWÜ) hinzu, das 1975 in Kraft trat und dem derzeit 141 Staaten angehören. Das Übereinkommen schreibt ein kategorisches Verbot der Entwicklung, Produktion und Lagerung bakteriologischer (im Sinn aller biologischen) und Giftstoffe enthaltenden Waffen (sog. Toxinwaffen) vor. Im Gegensatz zum Übereinkommen über chemische Waffen enthält das BWÜ keine Regelungen über die Verifikation zur Einhaltung des Vertrags. Um dieses Defizit zu beseitigen, wurden 1995 auf Initiative der Bundesregierung und der EU-Staaten Verhandlungen begonnen, die zu einer Stärkung des BWÜ und u. a. auch zu einem völkerrechtlich verbindlichen Protokoll über Verifikationsmaßnahmen führen sollen.

Wie bedrohlich die Staatengemeinschaft unsichere Verwendungsmöglichkeiten einschätzt, demonstriert auch die jüngste Entwicklung im Irak um die UN-Inspektionen der chemischen und biologischen Waffenarsenale und Kampfstoffe. Ein anderes Beispiel von erheblichem Risikopotential sind die Streitigkeiten zwischen Pakistan und Indien, die beide in diesem Jahr Atomwaffentests durchgeführt haben. Seit Jahrzehnten besteht zwischen diesen Staaten ein bewaffneter Grenz- und Territorialkonflikt um Kaschmir, in dem beide Seiten schon mehrmals mit dem Einsatz von Atomwaffen gedroht haben. Indien und Pakistan haben den Atomwaffensperrvertrag nicht unterzeichnet und infolgedessen auch kein Verifikationsabkommen abgeschlossen, das ihre nuklearen Aktivitäten lückenlos abdecken würde. Sie haben lediglich partielle Verifikationsabkommen mit der IAEO abgeschlossen, die sich lediglich auf dieje-

nigen Bestandteile des zivilen Nuklearbrennstoffkreislaufs beziehen, die importiert wurden.

ABC-Waffen bedeuten auch in stabileren Regionen der Erde ein ungewisses und über die Risikoabschätzung von Kernenergie hinausgehendes Risikopotential, wie der Zustand der strategischen Nuklearstreitkräfte in Rußland zeigt. Die meisten der stationierten Kernwaffen befinden sich in hoher Alarmbereitschaft (Müller und Frank, 1997). Dadurch entsteht das nicht abschätzbare Risiko unbeabsichtigter Abschüsse durch fehlerhafte Funktionen der technischen Systeme. Mangelnde Sicherheitsstandards und menschliche Fehleinschätzungen in einer Krise können ebenfalls zu unautorisierten oder irrtümlichen Raketenstarts führen. Die meisten russischen Nuklear-U-Boote sind nicht auf hoher See im Einsatz, sondern liegen in den Basen. Ihre Raketen werden ständig in Hochalarmbereitschaft gehalten. Diese ungewissen Risiken könnten durch die Beendigung oder das Absenken des Alarmstatus der Kernwaffenarsenale (de-alerting) verringert werden.

Die Verschrottung nukleargetriebener U-Boote in den arktischen Häfen Rußlands hat sich zu einem Problem entwickelt, weil zusätzliche finanzielle und technische Mittel fehlen, um die Kernreaktoren auszubauen und die Brennstoffe sachgemäß zu entsorgen (Auswärtiges Amt, 1997). Die U-Boote liegen in den Häfen fest, wo sie unzureichend gewartet werden und so allmählich korrodieren, wodurch ökologische Risiken für die Barents- und Kara-See entstehen. Ähnliche Mißstände sind bei den landgestützten Interkontinentalraketen zu vermuten. Auch hier sind nur wenige im Einsatz, was bei den nicht einsatzfähigen Raketen auf eine ungenügende Wartung wegen Personalmangels schließen läßt. Denn nur die ständige Einsatzfähigkeit dieser Waffensysteme gewährleistet, daß sie angemessen gewartet werden und damit nicht das Risikopotential eines Unfalls erhöhen.

Gemeinsame Merkmale

Atomwaffenfrühwarnsysteme und ABC-Waffen sind im Gegensatz zur Kernenergie und zu großchemischen Anlagen nicht dem Risikotyp Damokles zuzuordnen, was bei den offensichtlichen Parallelen der Technologien naheläge, sondern dem Typ *Zyklop* (Tab. D 2.2-1). Ähnlich wie bei Kernkraftwerken und großchemischen Anlagen sind Atomwaffenfrühwarnsysteme und ABC-Waffen mit einem hohen Schadenspotential behaftet, dessen Ausmaß durchaus bekannt ist bzw. relativ gut abgeschätzt werden kann. Die Auswirkungen können in Bezug auf Ubiquität und Persistenz ebenfalls hoch sein. Die geografische Reichweite einer möglichen Katastrophe ist global und die zeitliche Ausdehnung betrifft mehrere Generationen. Der entscheidende Unterschied zum Typ Damokles liegt jedoch darin, daß eine hohe

Tabelle D 2.2-1

Anwendung der Kriterien auf das Risikopotential bei Frühwarnsystemen von Nuklearwaffen und auf Risiken von ABC-Waffensystemen. Sie gehören zum Risikotyp Zyklon. Legende s. Kasten D 2.1-1.

Quelle: WBGU

Kriterium	Eigenschaften				
	Gering	Eher gering	Eher hoch	Hoch	Ungewiß
Eintrittswahrscheinlichkeit W					<input checked="" type="checkbox"/>
Abschätzungssicherheit von W					<input checked="" type="checkbox"/>
Schadensausmaß A					<input type="checkbox"/>
Abschätzungssicherheit von A					<input type="checkbox"/>
Ubiquität					<input type="checkbox"/>
Persistenz					<input type="checkbox"/>
Irreversibilität					<input type="checkbox"/>
Verögerungswirkung					<input type="checkbox"/>
Mobilisierungspotential					<input type="checkbox"/>

Ungewißheit bei der Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit vorliegt, da sich diese laufend ändern kann. Oft gibt es nur ungenügende Kenntnisse über die kausalen Zusammenhänge, da menschliche Verhaltensweisen und politische Strukturveränderungen eine große Rolle spielen. Diese Systeme sind relativ leicht verwundbar, ohne daß es von Handelnden so wahrgenommen wird. Die Charakterisierung und der derzeitige Umgang mit diesen Risikotechnologien haben gezeigt, daß gerade menschliche Faktoren wie mißbräuchliche Verwendung oder organisatorische Mängel (z. B. unzureichende Wartung) die Höhe der Eintrittswahrscheinlichkeit nur unzureichend abschätzbar erscheinen läßt.

2.3

Risiken bei bestimmten Anwendungen der Gentechnologie

In diesem Kapitel geht es weder um eine umfassende Darstellung der Gentechnologie noch deren vorhandene oder zukünftige Chancen, sondern um die exemplarische Darstellung bestimmter Anwendungsbereiche wie beispielsweise das Inverkehrbringen und die ungewollte Ausbreitung transgener Organismen. Deren Risikopotentiale können bei einer Reihe von Anwendungen nach Ansicht des Beirats weder in der Eintrittswahrscheinlichkeit noch in einem möglichen Schadensausmaß derzeit hinreichend genau abgeschätzt werden und sind damit durch Ungewißheit gekennzeichnet (Kap. C). Die hier angeführten Beispiele dienen deshalb dem Zweck, auf die mit bestimmten Anwendungen der Gentechnik verbundenen Unsicherheiten und Unge-

wisheiten aufmerksam zu machen. Ergänzend zur naturwissenschaftlichen Perspektive des Rats von Sachverständigen für Umweltfragen (SRU, 1998) betrachtet der Beirat die erwähnten Aspekte der Gentechnologie aus dem Blickwinkel der Risikoforschung (Kap. D 4).

Obwohl es schon vor mehr als 25 Jahren gelungen ist, gentechnische Veränderungen vorzunehmen, gibt es in der Gentechnologie auch weiterhin ständig neue Entwicklungen und Anwendungen, deren Chancen für die industrielle Nutzung sehr vielversprechend sind. In bestimmten Anwendungsbereichen sind mit diesen Chancen und Nutzen auch Risiken verknüpft, deren Ausmaß und Wahrscheinlichkeit aus Mangel an Erfahrung oder aus mangelndem Folgewissen weitgehend ungewiß bleiben. Die Folgen der Kommerzialisierung transgener Pflanzen und der unkontrollierten Anwendung oder ungewollten Verbreitung transgener Mikroorganismen (einschließlich Viren) könnten globale Relevanz erlangen, was den Beirat veranlaßt hat, v. a. die Anwendung der Gentechnologie in der Landwirtschaft zu behandeln.

Bei der Gentechnologie handelt es sich um eine sog. Querschnittstechnologie. Die Anwendungsbereiche der Gentechnologie lassen sich grob in 2 große Felder und mehrere weitere Bereiche unterscheiden. Ein großes Feld ist die medizinische und pharmazeutische Anwendung, die oft als „rote“ Gentechnik bezeichnet wird. In der Medizin liegen die Anwendungsfelder v. a. in der Therapie und in der Diagnose, in der Pharmazie wird die Gentechnik in erster Linie für die Entwicklung und in zweiter Linie für die Herstellung von Arzneimitteln verwendet.

Bereits heute werden mit gentechnisch erzeugten α -Interferonen die Leukämie und mit β -Interferonen die Multiple Sklerose bekämpft. Mit Seren, die mit gentechnisch hergestellten Antigenen versetzt wurden, wird ein verbesserter Schutz gegen Hepatitis in Aussicht gestellt. Diese und weitere Anwendungen sind zwar auch mit Risiken verbunden, sie haben jedoch nach Ansicht des Beirats keine globale Relevanz. Inwieweit von der Produktion gentechnisch erzeugter Pharmazeutika Risiken ausgehen, z. B. durch Entweichen von Organismen aus dem Labor, ist weiterhin umstritten. Das Ausmaß von Risiken der „roten“ Gentechnik muß aber als relativ klein und regional begrenzt angesehen werden.

Das zweite große Betätigungsfeld der Gentechnologie liegt in der Landwirtschaft und wird häufig als „grüne“ Gentechnik bezeichnet. Hier geht es beispielsweise um gentechnisch veränderte Rohstoffe zur Nahrungsmittelproduktion, Resistenz- und Intensivierungszüchtungen, Produktivitätssteigerungen oder Qualitätsveränderungen (Kap. D 4). Die Risikopotentiale liegen dabei nicht in den gentechnischen Methoden selbst, sondern vielmehr in den unbeabsichtigten Folgen bestimmter Anwendungen oder einer ungewollten Verbreitung transgener Organismen. In der Regel werden transgene Organismen zunächst schrittweise und kontrolliert freigesetzt (zu Ausnahmen in Entwicklungsländern und osteuropäischen Staaten: Sojref und Thamm, 1997; de Kathen, 1996).

In einigen gentechnischen Anwendungsbereichen konnten die verbleibenden Ungewißheiten weitgehend ausgeräumt werden, d. h. diese Risiken konnten vom Grenzbereich in den Normalbereich überführt werden. Sie sind somit dem routinemäßigen Management zu unterwerfen. Andere Anwendungen haben bereits die Kaskadenbewegung zum Risikotyp Zyklon und Medusa angetreten (s. Kap. A). Trotz allem verbleibt eine Reihe von Anwendungen, über die zu wenig empirische Erfahrungen im Sinn einer ungenügenden Datenbasis im Bereich Risiko- und Begleitforschung vorliegen, um eine quantitative und z. T. nicht einmal eine qualitative Risikoabschätzung vorzunehmen. Die Risiken dieser Anwendungen mit hohem Ungewißheitsgrad werden dem Risikotyp *Pythia* zugeordnet, weil bei den entscheidenden Kriterien Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß Ungewißheiten verbleiben. Diese „neue Qualität“ von gentechnischen Eingriffen, die mit Ungewißheitspotentialen verbunden sind (von Schell, 1994), wird anhand von 4 Risikofeldern und möglicher Szenarien aufgezeigt. Die Bildung von Störfallzenarien ist in der Risikoanalyse biotechnologischer Prozesse eine gängige Vorgehensweise (Hungerbühler et al., 1998).

Der Beirat unterscheidet 4 Risikofelder, bei denen durchaus plausible Szenarien oder Analogien beschrieben oder hohe Ungewißheiten und Unsicherheiten vermutet werden können. Deshalb werden die skizzierten Risiken dem Typ *Pythia* zugeordnet.

Verwilderung transgener Pflanzen

Mit dem Gentransfer sind, in Abhängigkeit der transgenen Eigenschaften, Risiken verbunden, da besonders konkurrenzfähige Pflanzen entstehen können, die sich unkontrolliert ausbreiten. Dieser Schluß läßt sich mit der Analogie der Einbürgerung nicht einheimischer Pflanzen (z. B. Neophyten), die in fremde Ökosysteme einwandern oder eingeführt werden und dort deutliche negative Auswirkungen hervorrufen können, verständlich machen (von Schell, 1998). Demzufolge sieht Skorupinski (1996) unerwünschte ökologische Folgen in der Verwilderung transgener Pflanzen einerseits durch Hybridisierung und andererseits durch „genetischen Rückschlag“. Bei der Hybridisierung werden Gene von Nutzpflanzen auf Wildpflanzenarten, z. B. Unkräuter, übertragen. Diese Hybriden können zum Problem werden, wenn sie fruchtbar sind und die neuen Gene ihnen einen Selektionsvorteil vermitteln. Eine Ausbreitung und Vermehrung der Hybriden ist v. a. dann zu erwarten, wenn sie den Nutzpflanzen ähneln und daher schwer zu bekämpfen sind. Kulturlandschaften sind eher geeignete Standorte für die Ausbreitung von Hybriden als natürliche Ökosysteme, weil hier durch anthropogene Einflüsse tiefergehende Veränderungen in den Ökosystemen stattfinden. Je intensiver Kulturlandschaften genutzt werden, desto höher ist der Steuerungsbedarf, um den gewünschten Zustand aufrechtzuerhalten, was gleichzeitig die Anfälligkeit für Veränderungen erhöht. Durch den sog. „genetischen Rückschlag“ gehen Domestizierungsmerkmale verloren, die nicht nur zu Ertrags- oder Qualitätseinbußen führen können, sondern die häufig auch eine erfolgreiche Etablierung von Kulturpflanzen außerhalb des Agrarökosystems oder eine Hybridisierung zwischen Kultur- und Wildpflanzen verhindern. Damit steigt die Wahrscheinlichkeit sowohl der Verwilderung als auch der Hybridisierung von Kulturpflanzen bzw. transgener Pflanzen mit verwandten Wildarten. Der Komplex zwischen Kultur- und Wildpflanzen ist durch einen mehr oder weniger starken Genfluß gekennzeichnet, wobei eine klare Abgrenzung zwischen beiden nicht immer möglich ist.

Unkontrollierte Ausbreitung transgener Eigenschaften und unbeabsichtigte Sekundäreffekte

Bei der Gentechnik werden häufig DNA-Sequenzen eingesetzt, die beispielsweise auf die Resistenz der Pflanzen Einfluß nehmen (z. B. Promotoren, Traylor). Kritiker der Gentechnik sehen Probleme darin, wenn Pflanzen gegen Viren, Insekten, Pilze oder Bakterien resistent gemacht werden (Wadman, 1997). Die positive Selektion auf ein Merkmal oder eine Eigenschaft erstreckt sich im natürlichen Prozeß der Evolution über lange Zeiträume. Gentechnisch erzeugte Merkmale, aber auch konventionell gezüchtete Eigenschaften von Nutzpflanzen, haben diesen Prozeß nicht durchlaufen. Es kann zu unerwünschten Effekten kommen, die sich für transgene Pflanzen verschärfen (Skorupinski, 1996).

Viele Risiken, die mit der Anwendung der Gentechnologie in der Landwirtschaft verbunden sein können, sind bereits aus der konventionellen Pflanzenzüchtung bekannt oder können anhand bisheriger Forschungsergebnisse und Freisetzungsversuche relativ gut eingeschätzt werden (Kap. D 4.2.2.4). Sie können, zumindest teilweise, dem Normalbereich von Risiken zugeordnet werden. In einigen Bereichen der Anwendung bestehen jedoch nach wie vor große Wissenslücken und Unsicherheiten hinsichtlich der Einschätzung möglicher Wirkungen in bzw. auf die Umwelt, so daß die mit diesen Anwendungen möglicherweise verbundenen Risiken zum jetzigen Zeitpunkt dem Risikotyp Pythia zugeordnet werden. Hierzu gehören beispielsweise das noch unzureichende Wissen im Bereich der Bodenbiologie und der gesamte Komplex der Populationsökologie von Viren einschließlich des Einflusses von Viren auf die Populationsdynamik natürlicher oder naturnaher Pflanzengesellschaften. Daher kann etwa eine Zunahme der Resistenzbildung von Viren gegenüber dem gentechnisch vermittelten Virenschutz der Pflanzen im Fall eines großflächigen Anbaus transgener virusresistenter Pflanzen weder vorhergesagt noch ausgeschlossen werden. Das gleiche gilt für möglicherweise gravierende Veränderungen der Artenzusammensetzung natürlicher oder naturnaher Pflanzengesellschaften infolge einer Verwilderung transgener virusresistenter Pflanzen oder einer Ausbreitung ihres Fremdgens. Ebenso könnte sich durch weitere Forschungen herausstellen, daß sich der Einfluß transgener Virusresistenzen nicht oder nur geringfügig von in der konventionellen Pflanzenzüchtung genutzten Resistenzen unterscheidet, oder daß eine Virusresistenz im Vergleich zu anderen ökologisch relevanten Eigenschaften wie beispielsweise erhöhtes Wachstum oder erhöhte Trockentoleranz nur einen geringen Selektionsvorteil bietet.

Greene und Allison (1994) wiesen unter Laborbedingungen nach, daß Viren Teile des Erbguts aus virusresistenten Pflanzen übernehmen und so neue Eigenschaften annehmen können. Das Schadensausmaß hängt natürlich von dem jeweiligen Szenario ab. So wiesen Greene und Allison „nur“ nach, daß Neukombinationen möglich sind. Das sagt noch nichts darüber aus, ob diese neuen Varianten auch gefährlicher sind als die ursprünglichen oder ob dieser Prozeß bei transgenen Pflanzen häufiger ist als natürlicherweise bzw. als bei konventionell gezüchteten, virusresistenten Kulturpflanzen. Dennoch illustriert ein solches Szenario, daß das Schadensausmaß hypothetisch sehr groß werden kann, wobei man über die Eintrittswahrscheinlichkeiten nur Plausibilitätsannahmen machen kann. So können Eigenschaften, wie z. B. Insektenresistenz, und ungewollte Veränderungen zu neuen Konkurrenzsituationen führen oder den eigenen Vermehrungsrhythmus stören, wie dies z. B. im US-Bundesstaat Mississippi im Sommer 1997 bei herbizidresistenter Baumwolle geschehen ist (Kleiner, 1997). Ursprünglich gentechnisch konstruierte Erbinformationen, wie z. B. Resistenzen gegen Insekten, können auch von Wildpflanzenpopulationen übernommen werden, sich dort fortpflanzen und ausbreiten (von Schell, 1998; Bartsch und Schuphan, 1998; Mikkelsen et al., 1996). Diese neuen transgenen Eigenschaften bei Wildpflanzen entziehen sich dann der menschlichen Kontrolle (Sentker et al., 1994).

Andere Risiken liegen beispielsweise darin, daß gentechnisch manipulierte Pflanzen neue Stoffe produzieren, die für andere Organismen schädlich sein können. Mit Hilfe der Gentechnik erzielte insektenresistente Pflanzen produzieren z. B. ein Gift, das aus Bakterien stammt. Bei dem Gift handelt es sich um das δ -Endotoxin aus *Bacillus thuringiensis*. Dieses tötet auch Nützlinge, die die mit Toxinen angereicherten Larven fressen (Hilbeck et al., 1998). Über die Häufigkeit solcher Vorgänge lassen sich keine zuverlässigen Aussagen machen, d. h. die Eintrittswahrscheinlichkeit dieser Ereignisse bleibt im Ungewissen. Das damit verbundene Schadensausmaß könnte dann beispielsweise hohe negative Konsequenzen annehmen, wenn die übertragenen Informationen und Eigenschaften den Wildpflanzen einen selektiven Vorteil in ihrer Population ermöglichen (Sentker et al., 1994). Mit hoher Ungewißheit ist auch das Problem behaftet, daß nur selten übertragene Gene in der fremden Population über lange Zeit nicht nachweisbar sind, es aber nach mehreren Vermehrungsrhythmen zu einer plötzlich verstärkten Ausbreitung der Eigenschaften kommen kann. Problematisch ist in diesem Feld auch die Verwendung von Antibiotikaresistenzgenen als Selektionsmarker. Damit Gentechniker jene Zellen identifizieren können, bei denen der Einbau der Erbinformation erfolgreich war,

wird neben dem gewünschten Merkmal eine weitere Eigenschaft mit übertragen. Häufig handelt es sich um Antibiotikaresistenz. So wird das Gen, das das Enzym Neomycinphosphotransferase kodiert, zusammen mit anderen Eigenschaften der Krankheits- und Schädlingsresistenz in mehr als 30 transgenen Pflanzen als Marker verwendet. Deshalb ist die therapeutische Behandlung mit Antibiotika, die diese genetische Information enthalten, mit Risiken verbunden, wenn gleichzeitig mit Antibiotikaresistenzmarkern versehene pflanzliche Nahrung aufgenommen wird (Skorupinski, 1996). Allerdings geht der Beirat bei den Antibiotikaresistenzgenen nicht von einem schwerwiegenden Risiko aus, hält aber eine Substitution von Antibiotika als Selektionsmarker für geboten.

Allergenität in Lebensmitteln

Heute werden immer mehr gentechnische Modifikationen in der Lebensmittelverarbeitung vorgenommen (Jany, 1998). Mit der Aufnahme von fremden Gensegmenten in Lebensmitteln können allergische Reaktionen bei den Menschen auftreten, die gegen die transgene Substanz allergisch sind (z. B. Erdbeeren). Im Vergleich zu der großen Zahl der identifizierten Luftallergene sind nur wenige Lebensmittelallergene bekannt. Bei der Lebensmittelverarbeitung und -zubereitung tauchen v. a. 2 Probleme auf (EC, 1997): Während des Verarbeitungsprozesses können Inhalt und/oder Eigenschaften der Nahrungsmittelallergene verändert werden. Dabei kann bei der Ausgangssubstanz die Fähigkeit, Allergien auszulösen, erhöht oder verringert werden. Zum anderen enthalten die meisten verarbeiteten Lebensmittel Additive und andere versteckte Ingredienzen natürlichen oder synthetischen Ursprungs. Aus diesem Grund tritt bei der Risikoabschätzung Ungewißheit auf, wenn Gene für allergene Proteine (z. B. aus der Erdnuß) von einer Pflanze auf andere übertragen werden (Skorupinski, 1996). Ein bekanntes Beispiel ist die Übertragung eines Gens der Paranaß, das ein hohes allergenes Potential besitzt, in den Samen von Ölraps und der Sojabohne, um einen gesteigerten Nährwert zu erhalten (Nordlee et al., 1996; Pühler, 1998a). Dieser Zweig der gentechnischen Anwendung ist z. T. mit Ungewißheit verbunden, da auch mit größtem technischem und finanziellem Aufwand nicht alle potentiellen Allergene bzw. allergene Reaktionen beim Menschen im Vorfeld bestimmt werden können. Dieser Umstand trifft allerdings in gleicher Weise auch für Nahrungsmittel aus der konventionellen Züchtung zu. Bei gentechnisch veränderten Pflanzen bzw. Nahrungsmitteln kommt jedoch die zunehmende, diffuse und teilweise nahezu weltweite Verbreitung bestimmter Teile oder Inhaltsstoffe transgener Pflanzen und damit auch potentieller

Allergene in den verschiedensten Nahrungsmitteln hinzu (z. B. Soja). Wie sich dies auf die zukünftige Ausbildung von Allergien auswirken wird, ist noch unbekannt, was dieses Problemfeld in die Nähe des Risikotyps Pythia rückt.

Allerdings könnte die Verwendung bekannter Allergene gesetzlich eingeschränkt werden oder allergische Menschen könnten diese Substanzen vermeiden, wenn die in anderen Pflanzen eingebauten allergenen Proteine gekennzeichnet werden würden. Falls diese Maßnahmen getroffen werden würden, würde dieses Risiko in den Normalbereich verlagert werden. Der Beirat würde sich also der Bewertung anschließen, „daß dem Allergieproblem bei Nahrungsmitteln aus gentechnischer Produktion in der öffentlichen Diskussion ein zu hoher Stellenwert zugemessen wird“ (Pühler, 1998a), wenn alle transgenen Substanzen bei Lebensmitteln aufgeführt und gekennzeichnet und wenn transgene Lebensmittel neben einer Toxizitätsprüfung auch einer Allergenitätsprüfung unterzogen werden würden. Ohne Kennzeichnung dieser Veränderung ist eine Vermeidung des Risikos nicht möglich. Auch wenn die seit einigen Jahren bestehende Novel-Food-Verordnung und ihre jüngste Ergänzung von 1998 zu gentechnisch veränderten Soja- und Maisprodukten versuchen, diese Kennzeichnung im Rahmen der EU-Staaten zu regeln, bleiben doch erhebliche Lücken in den Ausführungsbestimmungen. Mit verbesserten Maßnahmen der Kennzeichnung könnte die Unterscheidung zwischen bedenklischen und unbedenklichen transgenen Lebensmitteln zumindest ansatzweise gewährleistet werden. Allerdings verbleiben auch mit einer Allergenitätsprüfung Restrisiken, weil derartige Prüfungen wissenschaftlich weiterhin umstritten sind, da jedes Protein (wenn auch mit geringer Wahrscheinlichkeit) allergen wirken kann.

Verstärkter Rückgang der Sortenvielfalt im Pflanzenanbau und die Folgen für die Welt ernährung

In der Pflanzenzüchtung können durch gezielte gentechnische Eingriffe ebenfalls ungewisse Risiken verstärkt werden. Vor allem geht es hier um die Reduzierung der Nutzpflanzen auf wenige Arten, die gentechnisch optimiert weltweit zum Einsatz kommen. Dies ist keine genuine Problematik, die nur mit der Anwendung der Gentechnik verbunden ist, sondern vielmehr eine logische Fortführung der bisherigen Züchtungspraxis. Ob die gentechnische Pflanzenzüchtung gegenüber der konventionellen mehr oder neue Risiken in sich birgt, ist deshalb in der Fachliteratur auch umstritten. Skorupinski (1996) mißt den möglichen unsicheren und unerwünschten Konsequenzen gentechnischer Pflanzenzüchtung ein höheres Ungewißheitspotential zu als konventionel-

len Methoden, einschließlich der Mutationszüchtung und der Zellkulturtechniken unter starkem Selektionsdruck, die noch weiter von natürlichen Selektionsmechanismen entfernt sind als die klassische Kreuzungszüchtung. Die Gründe für diese Einschätzung sind in den Züchtungsmethoden zu finden (Skorupinski, 1996; von Schell, 1998).

Das Entscheidende dabei ist, daß der Mensch die Neukombination der Erbinformation vorgibt. Da diese Züchtungsmethoden einer spezifischen und fachgerechten Darstellung bedürfen, die an dieser Stelle nicht geleistet werden kann, sollen hier lediglich jene Charakteristika kurz erwähnt werden, die gentechnische von der konventioneller Züchtung unterscheiden (Skorupinski, 1996). Gentechnische Züchtungsmethoden erlauben einen artübergreifenden Transfer, weisen eine höhere Genauigkeit auf, beinhalten eine über Artgrenzen und geografische Grenzen hinwegreichende Addition fremder Informationen und sind damit wenig fehlerfreundlich. Die Gene selbst sind häufig hochgradig modifiziert und können von außen durch gezielte Einflußnahme kontrolliert werden. Ob die Anwendungen der Gentechnik oder die konventionelle Züchtung mehr oder weniger „fehlerfreundlich“ sind, bleibt in der wissenschaftlichen Diskussion umstritten.

Mögliche Folgen eines großflächigen Anbaus gentechnisch gezüchteten Getreides könnte globale Schadensausmaße annehmen. Wenn wenige Getreidearten durch gentechnische Veränderung so widerstandsfähig und ertragreich werden würden, daß sie weltweit Verwendung und Verbreitung fänden und die Weltgetreideversorgung von ihnen abhinge, könnten neue bisher noch unbekannte Schädlinge oder Virenformen diese Versorgung global gefährden. Dieses Szenario ist zwar auch nach Ansicht der meisten Kritiker wenig wahrscheinlich, aber dennoch zeigt es auf, worin die Risikopotentiale liegen. Dieser Sekundäreffekt ist nicht gentechnikspezifisch, denn er zeigt sich auch als Folge einer einseitigen Nutzung von Hochleistungssorten der klassischen Pflanzenzüchtung, aber im Rahmen einer vollständigen Risikoanalyse muß er ebenso berücksichtigt werden wie mögliche gentechnikspezifische Risiken. In der Grünen Revolution läßt sich eine Analogie erkennen. Neben der Anwendung von neuen Anbaumethoden zur Steigerung der Produktivität in der Landwirtschaft sind v. a. auch höhere Erträge garantierende Getreidesorten (high yielding varieties) zum Einsatz gekommen (WBGU, 1996b). Dieser Einsatz gezüchteten ertragreicheren Saatguts hat in den Entwicklungsländern vielerorts zu einem drastischen Rückgang der Vielfalt einheimischer Arten geführt. Im Zug der Grünen Revolution wurden als sichtbare Resultate der internationalen Agrarforschung in Mexiko und auf den Philippinen hoche-

tragreiche Weizen- und Reissorten entwickelt und gezüchtet (Nohlen, 1989).

Die gentechnische Pflanzenzüchtung bietet v. a. aus wirtschaftlicher Sicht Vorteile, indem die Züchtungsdauer verringert wird. Die Verkürzung der Züchtungsdauer ist aber auch ein Nachteil, weil Erfahrungszeiträume reduziert werden, in denen mögliche, durch den gentechnischen Eingriff hervorgerufene Störungen nicht über eine längere Zeit geprüft und bewertet werden können (von Schell, 1998).

Weitere Anwendungsbereiche

Weitere Betätigungsfelder findet man u. a. in der Anwendung der Gentechnik in speziellen Produktionsprozessen, etwa bei der Enzymproduktion für Waschmittel. In die Umwelttechnik hat die Gentechnik ebenfalls Einzug gehalten. Hierzu zählt z. B. die sog. „Bioremediation“, der Einsatz von Mikroorganismen zur Reinigung kontaminierter Böden und Gewässer. Diese Anwendungen sind z. Z. aber noch als marginal anzusehen (Knorr und von Schell, 1997), obwohl sie hinsichtlich möglicher ökologischer Auswirkungen kritischer zu beurteilen sind als die „grüne“ Gentechnik.

Zusammenfassend kann man feststellen, daß eine Vielzahl heute noch nicht abschätzbarer Risikopotentiale mit dem Anbau und der Kommerzialisierung transgener Pflanzen sowie der ungewollten Verbreitung transgener Mikroorganismen verbunden ist. Außerdem sind Weiterentwicklungen in Richtung neuer Genkonstrukte oder ökologisch sehr relevanter, gentechnisch vermittelter Eigenschaften wie beispielsweise Kälte, Hitze- und Salztoleranz zu erwarten. Offenkundig kann man zum jetzigen Zeitpunkt noch wenig über das maximale Ausmaß und die Eintrittswahrscheinlichkeiten für unterschiedliche Schadensszenarien aussagen. Bezüglich des Kriteriums Persistenz können durch Erbgutveränderungen auch nachfolgende Generationen betroffen sein.

Im Vergleich zu den Risikotypen Damokles und Zyklop sind im Typ Pythia sowohl die Eintrittswahrscheinlichkeiten ungewiß als auch das mögliche Ausmaß bei Schadenseintritt unbekannt. Diese Ungewißheit besteht nach Ansicht des Beirats nicht bei der Mehrheit der bisherigen Anwendungen, sondern nur bei bestimmten Anwendungen, bei denen es um ein Inverkehrbringen und die ungewollte Ausbreitung transgener Organismen geht. Es ist dabei durchaus möglich, daß das Schadensausmaß hoch ist, es könnte sich aber auch als gering erweisen. Ebenso lassen sich keine gesicherten Aussagen über die jeweiligen Eintrittswahrscheinlichkeiten machen. Aus der hohen Ungewißheit bei Wahrscheinlichkeit und Ausmaß folgt auch eine hohe Ungewißheit bei Ubiquität, Persistenz und dem Zeitpunkt des Eintretens (Verzögerungswirkung). Einige Beispiele wie z. B.

Tabelle D 2.3-1

Anwendung der Kriterien auf bestimmte Anwendungen der Gentechnologie. Sie gehören zum Risikotyp Pythia. Legende s. Kasten D 2.1-1.
Quelle: WBGU

Kriterium	Eigenschaften				
	Gering	Eher gering	Eher hoch	Hoch	Ungewiß
Eintrittswahrscheinlichkeit W					
Abschätzungssicherheit von W					
Schadensausmaß A					
Abschätzungssicherheit von A					
Ubiquität					
Persistenz					
Irreversibilität					
Verzögerungswirkung					
Mobilisierungspotential					

Genmanipulationen oder Eingriffe in Fruchtzyklen zeigen, daß ein ursprünglicher Zustand nicht wiederherstellbar ist. Die erwähnten Anwendungen der Gentechnologie lassen sich damit eindeutig dem Risikotyp Pythia zuordnen (Tab. D 2.3-1).

Mobilisierungspotential

Das Mobilisierungspotential der Gentechnik ist nicht so einfach zu bestimmen wie etwa das der Kerntechnik. In der Bevölkerung herrscht ein relativ geringer Informationsstand, einige Anwendungen der Technologie gelten als sehr umstritten, gleichzeitig zeigen Umfragen aber auch, daß die Bevölkerung dieser Technik wesentlich gelassener gegenübersteht als der Kerntechnik. Die öffentliche Diskussion wird über die instrumentelle Zweck-Nutzen-Abschätzung hinaus überwiegend auf der Basis ethischer und den Mißbrauch thematisierender Argumente geführt (Renn und Zwick, 1997). Im Gegensatz zur weitverbreiteten Meinung, die Deutschen seien besonders skeptisch gegenüber der Gentechnik eingestellt, zeigen die Eurobarometeruntersuchungen der EG, daß im europäischen Vergleich die deutschen Befragten Gentechnik pauschal und in Bezug auf die meisten Anwendungen in größerer Zahl befürworten als beispielsweise die Dänen, Niederländer, Briten, Finnen oder Österreicher (Hampel, 1998). Gleichzeitig sind die Deutschen aber erheblich skeptischer gegenüber der Gentechnik und ihren Anwendungen eingestellt als etwa die Amerikaner. Nach einer im Frühjahr 1997 mit dem amerikanischen Institut Market Facts durchgeführten Allensbach-Befragung befürworten 52% der Amerikaner die Gentechnologie, wohingegen nur 30% der Deutschen die Gentechnik positiv beurteilen. Daß dabei in bestimmten Anwendungs-

bereichen eine viel höhere Zustimmung vorhanden ist, zeigt eine von der Akademie für Technikfolgenabschätzung Stuttgart koordinierte repräsentative Umfrage, nach der 74% der Bevölkerung die Verwendung der Gentechnologie in der Medizin unterstützen (Hampel et al., 1997). So werden die Diagnose und Therapie von Krankheiten von weit mehr als $\frac{1}{2}$ der Befragten gut geheißen. Die Herstellung von Impfstoffen und die pränatale Diagnostik erfahren immerhin noch von weit über der Hälfte der Befragten Zustimmung. Für zukünftige Entwicklungen ist es je nach dem weiteren Verlauf der öffentlichen Diskussion möglich, daß sich das bereits vorhandene mittlere Mobilisierungspotential weiter erhöht. Proteste z. B. bei den Freisetzungsversuchen von gentechnisch verändertem Mais oder Raps sind in Deutschland bereits zu beobachten.

2.4

Das Risikopotential elektromagnetischer Felder

Die mit „Elektrosmog“ verbundenen Risiken sind hauptsächlich auf die Intensitäten und Frequenzen elektromagnetischer Felder zurückzuführen, die von den menschlichen Sinnesorganen nicht wahrgenommen werden, weil sie unterhalb der Erregungsschwelle liegen. Es handelt sich dabei nicht um physische Störungen, denen objektiv nachprüfbar Daten zugrundeliegen, sondern um Angaben zu subjektiven Mißempfindungen oder zur subjektiven Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit, die dann zu psychosomatischen Störungen führen können. Der entscheidende Aspekt für die Risikobewertung ist also die Frage nach der subjektiven Risikowahrneh-

Tabelle D 2.4-1

Anwendung der Kriterien auf das Risikopotential elektromagnetischer Felder. Es gehört zum Risikotyp Medusa. Legende s. Kasten D 2.1-1.
Quelle: WBGU

Kriterium	Eigenschaften				
	Gering	Eher gering	Eher hoch	Hoch	Ungewiß
Eintrittswahrscheinlichkeit <i>W</i>					<input type="checkbox"/>
Abschätzungssicherheit von <i>W</i>					<input type="checkbox"/>
Schadensausmaß <i>A</i>					<input type="checkbox"/>
Abschätzungssicherheit von <i>A</i>					<input type="checkbox"/>
Ubiquität					<input type="checkbox"/>
Persistenz					<input type="checkbox"/>
Irreversibilität					<input type="checkbox"/>
Verögerungswirkung					<input type="checkbox"/>
Mobilisierungspotential					<input type="checkbox"/>

mung der Betroffenen (Hester, 1998; Wiedemann und Schütz 1996; Wiedemann et al., 1994; MacGregor et al., 1994). Immer häufiger werden die mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (EMF) in Zusammenhang gebrachten Risikopotentiale zum Gegenstand der Medienberichterstattung und damit in den Mittelpunkt der öffentlichen Aufmerksamkeit gerückt (Wartenberg und Greenberg, 1998). Eine wesentliche Ursache, daß elektromagnetische Strahlung als Risiken wahrgenommen werden, liegt in der Bandbreite der Ergebnisse professioneller oder auch nur professionell anmutender Risikostudien (Schaefer, 1995).

Seriöse wissenschaftliche Untersuchungen kommen überwiegend zu dem Ergebnis, daß elektromagnetische Felder durchaus Wirkungen hervorrufen, die aber für den Menschen in der Regel nicht gefährlich sind, d. h. es sind weder epidemiologisch noch toxikologisch signifikante Veränderungen festzustellen. Bei jenen Fällen in der Nähe von elektromagnetischen Feldern, in denen signifikante Veränderungen statistisch nachgewiesen wurden, sind andere Erklärungen wesentlich plausibler. So läßt sich die leicht erhöhte Krebsrate bei Anwohnern in der Nähe von Starkstrommasten in den USA auf das unterschiedliche Einkommensniveau zurückführen. Da die Häuser in der Nähe von Strommasten preiswert zu erwerben sind, finden sich dort wesentlich mehr einkommenschwache Familien als in Vergleichsgebieten. Niedriges Einkommen steht in enger Beziehung zu bestimmten Krebsarten. Hält man das Einkommen konstant, dann verschwindet der Einfluß der elektromagnetischen Wellen auf die Krebshäufigkeit, die Umkehrung gilt jedoch nicht.

Die Risikodebatte um elektromagnetische Felder ist nicht zuletzt auch eine Spiegelung der Expertendiskussion, in der Glaubwürdigkeit zur Disposition steht (Wiedemann et al., 1994). Von der Öffentlichkeit anerkannte Wissenschaftler nehmen oft gegensätzliche Positionen ein (Covello, 1998), was nicht zuletzt dazu führt, daß auch die methodisch abgesicherten wissenschaftlichen Erkenntnisse von der Öffentlichkeit angezweifelt werden. Für jedes Gutachten eines Experten findet sich ein Gegengutachten eines anderen Experten. Mißtrauen besteht v. a. gegenüber Grenzwerten, die als willkürliche Setzung interpretiert werden. Die Uneinigkeit der Experten wird von der Öffentlichkeit häufig als generelle Ungewißheit und sogar Verharmlosung interpretiert.

Das von elektromagnetischen Feldern ausgehende Risikopotential ist ein typischer Vertreter des Risikotyps Medusa, dessen Schadensausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit eher gering einzuschätzen sind, wobei die Wahrscheinlichkeit teilweise ungewiß bleibt (Tab. D 2.4-1). Die räumliche Verbreitung dieses Risikopotentials ist hoch, d. h. zumindest grenzüberschreitend, wenn nicht sogar global, denn in nahezu allen industrialisierten und in den meisten nicht-industrialisierten Ländern ist die Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Wellen hoch. Auch in Bezug auf das Mobilisierungspotential kann das Thema als politisch und gesellschaftlich relevant angesehen werden, da die Medien und die Öffentlichkeit immer häufiger diesem Thema ihre Aufmerksamkeit widmen und so Betroffene mobilisieren. Das Risikopotential wird v. a. von den unmittelbar Betroffenen als bedrohlich angesehen. Die subjektive Wahrnehmung der Beeinträchtigung von Empfindungen und Leistungsfähigkeit kann zu

psychosomatischen Reaktionen führen und damit indirekt zu physischen Schädigungen.

Weltweit ist potentiell eine große Zahl von Menschen betroffen, wobei schädliche Auswirkungen in Form psychosomatischer Störungen auftreten, epidemiologische Nachweise oder toxikologisch signifikante Dosis-Wirkungs-Beziehungen lassen sich bei der in der Realität auftretenden Strahlungsdosis statistisch jedoch nicht absichern. Dennoch muß hier risikopolitisch gehandelt werden, denn es entsteht ein hohes Mobilisierungspotential bei Risiken, denen viele Menschen ausgesetzt sind und deren Wirkung zwar unterhalb der statistischen Signifikanzschwelle bleibt, aber nicht auszuschließen ist. Gerade das von elektromagnetischer Strahlung wahrgenommene Risikopotential illustriert deutlich das allgemeine Unbehagen der Menschen gegenüber technischen Neuerungen, die v. a. auch im Zug der Modernisierung und Globalisierung zum Ausdruck kommen (Kap. C).

**3.1
Die Bedeutung von Infektionskrankheiten**

Weltweit stehen Infektionskrankheiten an der Spitze der Mortalitätskala gefolgt von Herz-Kreislauf- und Krebserkrankungen (Tab. D 3.1-1). Der Beirat hat den Schwerpunkt auf Infektionskrankheiten gelegt, da diese als Risiken einzustufen sind, die gleichzeitig sowohl eine globale Bedeutung haben und bei Ausbruch einen hohen Schaden verursachen können und bei denen in der Mehrzahl die Beziehung Mensch-Umwelt-Mensch eine Rolle spielt. Es werden hier ausschließlich Infektionen mit epidemischem und pandemischem Ausbreitungspotential betrachtet.

Infektionskrankheiten von globaler Bedeutung, die für ihre Übertragung auf den Menschen einen Vermittler (Vektor) benötigen oder die durch infiziertes Wasser übertragen werden (Favela-Syndrom), werden im vorliegenden Gutachten nicht behandelt, da sie vom Beirat bereits ausführlich bearbeitet wurden (WBGU, 1998a). Hier sollen sog. neue Infektionskrankheiten bevorzugt dargestellt werden. Das sind Infektionskrankheiten, die von Erregern ausgelöst werden, die erst in den letzten 2 Dekaden aufgetreten sind und folglich in der Öffentlichkeit besonders intensiv diskutiert werden. Beispielhaft für unterschiedliche Typen von Risikoentstehung, -potentialen und -bewältigung sollen AIDS (Acquired Immune Deficiency Syndrome), Influenza-A-Er-

krankungen und die Bovine Spongiforme Enzephalopathie bzw. die neue Variante der Creutzfeldt-Jakob-Krankheit (BSE/nv-CJD) behandelt werden.

**3.1.1
Globale Bedeutung**

HIV/AIDS und Influenza A

Für das Auftreten beider Krankheiten lassen sich Bezugspunkte zu einigen Kernproblemen des Globalen Wandels herstellen. Derzeit sind 31 Mio. Menschen weltweit mit dem Human Immunodeficiency Virus (HIV) infiziert. Etwa alle 10 Jahre kommt es zu schweren Epidemien mit Influenza-A-Subtypen, die bisher im Einzelfall bis zu 20 Mio. Todesopfer forderten („Spanische Grippe“, 1918).

Beide Infektionskrankheiten werden begünstigt oder erst ermöglicht durch nationale und internationale Mobilität und durch urbane Lebensformen, die die Kontakthäufigkeit stark erhöhen. Drogenmißbrauch spielt hier ebenfalls eine entscheidende Rolle. Besonders gefährdet sind auch Homosexuelle und Gesellschaften, in denen Partner häufig gewechselt werden.

Für AIDS ist das Schadensausmaß bereits relativ gut abzuschätzen. In manchen Gebieten der Erde führt die Infektion aufgrund der hohen Durchseuchung und Mortalität bereits jetzt, 15 Jahre nach ihrer Verbreitung, zu erkennbaren schadensbedingten Strukturänderungen (Zunahme der Armut, hohe Zahl an Waisen, Zunahme von Begleitinfektionen).

Bei der Influenza A ist die Eintrittswahrscheinlichkeit für das periodische Entstehen eines neuen, hochvirulenten Subtyps relativ hoch (ca. alle 10-20 Jahre). Das Schadenspotential wird, außer durch biologische Effekte, die in der Natur des Virus selbst liegen, von zunehmender urbaner Ballung und Mobilität bestimmt.

Bovine spongiforme Enzephalopathie/Neue Variante der Creutzfeldt-Jakob-Krankheit
Als eine Folge der Zunahme der Weltbevölkerung wird die Nahrungsgewinnung intensiviert, um den

Tabelle D 3.1-1
WHO-Schätzung für die Haupttodesursachen 1996.
Quelle: WHO, 1997c

Ursache	Todesfälle	
	Mio.	%
Infektionserkrankungen	17	32,7
Kreislaufkrankungen	15	28,8
Krebs	6	11,5
Atemwegserkrankungen	3	5,8
Andere	11	21,2
Gesamt	52	100,0

Ertrag zu optimieren. Der Rinderwahnsinn, die Bovine Spongiforme Enzephalopathie (BSE), ist unmittelbar im Zusammenhang mit einer Intensivtierhaltung zu sehen, bei der Fleischabfälle zur Ertragssteigerung an Pflanzenfresser verfüttert wurden. Die spongiformen Enzephalopathien sind besondere Infektionskrankheiten, von denen beim Menschen und bei Tieren verschiedene Formen vorkommen. Eine Besonderheit besteht darin, daß sie zusätzlich – wenn auch selten – spontan ohne infektiösen Kontakt auftreten. 1996 ist beim Menschen eine neue spongiforme Enzephalopathie beschrieben worden, die als neue Variante der Creutzfeldt-Jakob-Krankheit (nv-CJD, new variant of Creutzfeldt-Jakob Disease) bezeichnet wird und die große Ähnlichkeit mit BSE beim Rind hat. Die bisherigen Untersuchungsergebnisse erlauben die Annahme, daß es sich dabei um die humane Form von BSE handelt. Da spongiforme Enzephalopathien auch nach Abklingen von BSE weiter *de novo* entstehen werden und somit ein Risikopotential für die Menschheit darstellen, wird die Problematik in diesem Gutachten thematisiert.

Völlig unbekannt ist, ob ein großer Schaden durch BSE/nv-CJD eintreten kann, weil die Latenzzeit zwischen Infektion und Ausbruch der Krankheit noch nicht genau bekannt ist und derzeit auf 15–20 Jahre geschätzt wird. Sollte sich eine hohe Übertragungsrate vom infizierten Rind auf den Menschen herausstellen, wäre bei einer bis Ende 1995 für die menschliche Nahrung verwerteten Anzahl von ca. 750.000 infizierten Rindern mit einem erheblichen Schadensausmaß zu rechnen.

Andere Infektionskrankheiten mit global em Risikopotential

Die Tuberkulose, ausgelöst durch *Mycobacterium tuberculosis hominis*, ist derzeit mit ca. 3 Mio. Todesfällen pro Jahr wahrscheinlich weltweit die häufigste Infektionskrankheit. Sie wird ausschließlich von Mensch zu Mensch übertragen, und für ihre Ausbreitung spielen nur anthropogene Faktoren eine Rolle (städtische Ballung, Kriege, reduzierter Immunität). Da ein eindeutiger Umweltbezug fehlt, soll die Tuberkulose in diesem Gutachten nur als Folge von AIDS und als ein Beispiel für die Resistenzentwicklung gegen Therapeutika behandelt werden.

Ähnliches gilt für die Syphilis und Gonorrhö, die als sexuell übertragbare Krankheiten (sexually transmitted diseases, STD) ausschließlich anthropogen verbreitet werden und zahlenmäßig wieder zunehmen. Anders als bei der Tuberkulose, deren erneute Ausbreitung Folge von AIDS ist, stellen die STD einen erheblichen Risikofaktor für den Erwerb von AIDS dar. Bei der Ausarbeitung der gesundheitspolitischen Strategien zur Bekämpfung von AIDS ist

deshalb die Therapie der STD vorrangig in die Überlegungen einzubeziehen.

3.1.2

Bedeutung für die Umwelt

Neben den relevanten anthropogenen Faktoren, die zur Reaktionskette Mensch-Umwelt-Mensch führen, gibt es insbesondere bei den „neuen“ Seuchen einen zusätzlichen Aspekt der Beziehung zur Umwelt: AIDS und Influenzaerkrankungen werden durch Viren ausgelöst, die sich durch eine hohe Instabilität ihres genetischen Materials auszeichnen. Sie verfügen deshalb über eine schnelle Wandlungsfähigkeit, und dies kommt einer hohen Anpassungsfähigkeit an potentielle neue Wirte gleich. So konnten insbesondere HIV, aber auch einzelne Stämme der Influenza-A-Viren (Hühnergrippe), mit ihrem Reservoir bei Säugetieren und Vögeln Speziesbarrieren durchbrechen und auch den Menschen infizieren. Demnach gibt es bei diesen Erregern eine Umwelt-Mensch-Beziehung, die rein biologischer Natur ist.

im Fall von BSE/nv-CJD ist die Übertragung auf das Rind und möglicherweise vom Rind auf den Menschen ausschließlich dem Handeln des Menschen zuzuschreiben.

3.2

Schadenspotentiale, gegenwärtiger Umgang und Charakterisierung der Risiken

3.2.1

HIV/AIDS

In den 60er Jahren befand sich der Kampf gegen Infektionskrankheiten mit der Ausrottung der Pocken durch die WHO, der Beherrschung der Kinderlähmung (Polio) und des Wundstarrkrampfs (Tetanus) durch effiziente Impfungen auf einem vorläufigen Höhepunkt des Erfolgs. Allerdings waren auch damals die Grenzen der Infektionsbekämpfung bereits erkennbar. Sie zeigten sich im Mißerfolg des WHO-Programms bei der Ausrottung der Malaria und in der beginnenden Zunahme bakterieller Resistenzen. 1979 erschien in einer der führenden medizinischen Zeitschriften ein Editorial, das mit dem Titel überschrieben war: Pandora's box reopened? Der Autor konstruierte ein bis dahin hypothetisches Szenario einer globalen Rückkehr der Seuchen. Das Entstehen „neuer“ Seuchen wurde befürchtet (Schwartz, 1979). 1983 stand fest, daß es eine neue Seuche mit pandemischem Ausbreitungspotential gab, die durch das Human Immunodeficiency Virus Typ 1 (HIV) ver-

ursacht wird und mit hoher Sicherheit zum Tode führt.

HIV-Viren sind Retroviren. Sie sind nach einem Enzym benannt (Reverse Transkriptase), das sie enthalten. Retroviren sind seit 1910 aus tierexperimentellen Systemen bekannt, wo sie als Tumor-induzierende Agenzien identifiziert wurden (Peyton Rous, 1966 Nobelpreis). Humanpathogene Retroviren wurden erstmals 1980 von Gallo beschrieben (human T-cell lymphotropic virus, HTLV-1 bis HTLV-3). Zunächst wurde nur ihre Tumor-induzierende Wirkung erkannt (adulte T-Zell-Leukämie der karibischen Bevölkerung) und später erst wurde HTLV-3, umbenannt in HIV-1 (Brun-Vezinet et al., 1984; Gallo und Reitz, 1985), als Erreger des AIDS-Syndroms identifiziert. Die HIV-1-Infektion (im folgenden als HIV bezeichnet) ist nach heutigem Wissensstand bereits in den 40er Jahren durch den Wirtswechsel eines Virus vom Tierreich (Schimpansen, Zentralafrika) auf den Menschen durch genetische Adaption des Erregers an den neuen Wirt entstanden (Williams et al., 1983; Zhu et al., 1998).

Von den oben genannten humanpathogenen Retroviren hat nur HIV eine globale Bedeutung erreicht. Es infiziert Zellen des Immunsystems in Blut, Lymphknoten und Milz. Dies geschieht ausschließlich über direkten Kontakt mit infiziertem Blut oder infizierten anderen Körperflüssigkeiten. Das Virusgenom, das Ribonukleinsäure enthält, wird durch viruseigene, Reverse Transkriptase umgeschrieben und als Provirus in das Genom der Wirtszelle integriert. Nach einer HIV-Infektion nimmt die Immunreaktion des Organismus einen charakteristischen zyklischen Verlauf, der durch ein Wechselspiel zwischen Virus und Immunsystem gekennzeichnet ist. Dabei wechseln sowohl Viruslast als auch Anzahl immunkompetenter Zellen im Blut schubweise (antigenic drift), und auf der viralen Seite treten charakteristische Verschiebungen in der Antigenwirkung des Virus, z. T. durch das Entstehen von HIV-Mutanten auf (antigenic shift). Nach der Infektion bestimmt also ein evolutionärer Prozeß zwischen Virus und Immunsystem die Dauer zwischen Infektion und dem Auftreten der Krankheitssymptome (Latenzzeit). Während dieser Latenzzeit entsteht eine zunehmende Schwächung des Immunsystems durch einen ständigen Verlust an immunkompetenten Zellen. Die Immunantwort des Organismus wird durch Mutation und Integration des Virus in das Wirtsgenom zunehmend umgangen. Entscheidend ist, daß die Schwächung des Immunsystems zur Zunahme von sog. opportunistischen Infektionen mit Erregern führt, die normalerweise nicht humanpathogen sind, jedoch für den AIDS-Kranken unbehandelt mit einer 100%igen Letalität behaftet sind (z. B. *Pneumocystis carinii*).

Die HIV/AIDS-Pandemie setzt sich aus vielen regionalen Epidemien zusammen. Diese unterscheiden sich erheblich hinsichtlich des zeitlichen Beginns, der Hauptübertragungswege sowie der Entwicklung von Neuinfektionen. In verschiedenen Teilen der Welt sind demnach erhebliche Unterschiede im Schadenspotential erkennbar (Tab. D 3.2-1). Dies ist bedingt durch soziale Verhaltensweisen (z. B. Drogenmißbrauch, Promiskuität) und – von grundlegender Bedeutung – durch gravierende Unterschiede in der Aufklärungsfähigkeit und der Umsetzung von Selbstschutzmaßnahmen. Dies wird insbesondere bei Frauen der asiatischen und afrikanischen Länder sehr deutlich. Nach Schätzung der WHO (WHO, 1997a) sind 30,6 Mio. Menschen weltweit mit HIV infiziert bzw. bereits an AIDS erkrankt. Von diesen leben 68% in den afrikanischen Ländern südlich der Sahara und weitere 24% in Süd-, Südostasien und Lateinamerika. 41% der HIV-infizierten Menschen sind Frauen.

Das Muster, nach dem die Ausbreitung erfolgt, ist aufgrund ausschließlich anthropogener Faktoren ländertypisch, regional unterschiedlich und auch wandelbar. Abgesehen von der Übertragung durch Blutkonserven sind ungeschützte Sexualkontakte (insbesondere bei Promiskuität und Prostitution) und gemeinsame Benutzung von Injektionsbestecken die fast ausschließlichen Übertragungswege. In Nordamerika und Europa sind überwiegend Risikogruppen erkrankt, in denen die genannten Verhaltensweisen oft kombiniert vorkommen (homo- und bisexuelle Männer, Drogenabhängige). Andererseits sind in Nordafrika, entsprechend regionaler soziokultureller Besonderheiten, eine oder mehrere Verhaltensweisen auch in Teilen der heterosexuellen Bevölkerung verbreitet (WHO, 1997b).

Bereits gegen Ende der 80er Jahre haben in Europa und Nordamerika die Zahlen der HIV-Infizierten und die AIDS-Krankheit ihren Höhepunkt erreicht, sie erreichten hier 1993/1994 ein Plateau mit einer Vorkommenshäufigkeit von 0,3–0,6% (Abb. D 3.2-1). Etablierte präventive Maßnahmen wie Aufklärung und Beratung über Risiken und Schutzmöglichkeiten, medizinische Versorgung Betroffener, effektive Behandlung von Begleiterkrankungen und -infektionen und strenge Kontrolle von Blutprodukten führten zum Erfolg. Der gegenwärtige Verlauf in Europa und den USA liefert ein Beispiel dafür, daß sich die Ausbreitung des Virus durch den Einsatz und die Weiterentwicklung der genannten Maßnahmen prinzipiell begrenzen läßt. Seit 1996 nimmt in Europa und Nordamerika die Mortalität sogar deutlich ab. Letzteres ist sicher im wesentlichen auf die Einführung wirksamer Therapien, insbesondere der Kombinationstherapien von Chemotherapeutika mit Proteasehemmern, zurückzuführen. Allerdings neh-

Tabelle D 3.2-1
Regionale HIV/AIDS-Statistiken und -Merkmale.
Quelle: UNAIDS, 1997

Region	Ausbruch der Epidemie	HIV/AIDS-infizierte Erwachsene und Kinder	Verbreitungsrate bei Erwachsenen [%]	Anteil der Frauen [%]	HIV-negative Kinder, durch AIDS Halb- oder Vollwaisen	Hauptüberträger
Afrika/ Subsahara	Späte 70er, Frühe 80er	20.800.000	7,4	50	7.800.000	Heterosexuelle
Nordafrika, Mittlerer Osten	Späte 80er	210.000	0,13	20	14.200	IV-Drogen
Süd- und Süd- Ostasien	Späte 80er	6.000.000	0,6	25	220.000	Heterosexuelle
Ostasien, Pazifik	Späte 80er	440.000	0,05	11	1.900	IV-Drogen und Homosexuelle
Lateinamerika	Späte 70er, Frühe 80er	1.300.000	0,5	19	91.000	Homo- und Heterosexuelle
Karibik	Späte 70er, Frühe 80er	310.000	1,9	33	48.000	Heterosexuelle
Osteuropa, Zentralasien	Frühe 90er	150.000	0,07	25	30	IV-Drogen
Westeuropa	Späte 70er, Frühe 80er	530.000	0,3	20	8.700	IV-Drogen
Nordamerika	Späte 70er, Frühe 80er	860.000	0,6	20	70.000	Homo- und Heterosexuelle
Australien, Neuseeland	Späte 70er, Frühe 80er	12.000	0,1	5	300	Homosexuelle
Gesamt		30.600.000	1,0	41	8.200.000	

men die Infektionsinzidenzen nicht im gleichen Maß ab. Der Anteil heterosexueller Übertragung steigt z. B. in den USA sogar langsam an (Abb. D 3.2-2).

Global gesehen wächst der durch die HIV/AIDS-Pandemie verursachte Schaden. Bei geschätzten 16.000 neuen Infektionen pro Tag wird für das Jahr 2000 mit über 40 Mio. Fällen gerechnet (WHO, 1997a). Der gegenwärtige Höhepunkt der Epidemie liegt in den Ländern südlich der Sahara (Tab. D 3.2-1). Die Infektionsrate unter Erwachsenen ist in Afrika auf 7,4% angestiegen. In einzelnen Ländern, z. B. in Uganda, sind bereits gravierende gesellschaftliche Veränderungen (Altersstruktur, Dezimierung der wirtschaftlich und gesellschaftlich aktiven Bevölkerung) eingetreten. AIDS hat die Lebenserwartung in einigen Ländern erheblich verkürzt, z. B. um 22 Jahre in Simbabwe (UNDP, 1998). Die Ausbreitung der Infektion in den bevölkerungsreichsten Regionen der Erde wie Süd-, Südostasien und China hat erst Ende der 80er Jahre begonnen und entwickelt regional eine große Dynamik. Beispielsweise stieg die Vorkommenshäufigkeit von HIV in Vietnam in bestimmten Gesellschaftsgruppen innerhalb von 2 Jahren von 1% auf 44%. Die Zahl der HIV/AIDS-

Fälle in Indien wird derzeit auf 3–5 Mio. geschätzt. Bei Fernfahrern in Madras, die sich systematisch durch Prostituierte infizieren, wurde ein Anstieg der Infektionsrate von 1,5% im Jahr 1995 auf 6,2% in 1996 beobachtet.

3 wesentliche biologische Risikoverstärker für die HIV-Infektion sind zu nennen: Latenzzeit, genetische Instabilität und Koinfektionen.

Latenzzeit

Die bis 10jährige Latenzzeit (Zeitraum zwischen HIV-Infektion und klinischer Manifestation des AIDS-Syndroms) ermöglicht bei unzureichender Kontrolle der HIV-Durchseuchung eine unbemerkte Ausbreitung des Virus (eine transkontinentale HIV-Vorkommenshäufigkeit bestand bereits lange vor der ersten epidemiologischen Erfassung des AIDS-Syndroms). Daraus ergibt sich, daß das ausschließliche Erfassen der Inzidenz AIDS-Erkrankter und das Nichterfassen der HIV-infizierten Fälle im Latenzstadium zur stark verzögerten Registrierung neuer epidemiologischer Entwicklungen führt. Das „Zeitfenster“ zwischen Infektion und Nachweisbarkeit von Antikörpern beträgt mehrere Wochen. Eine

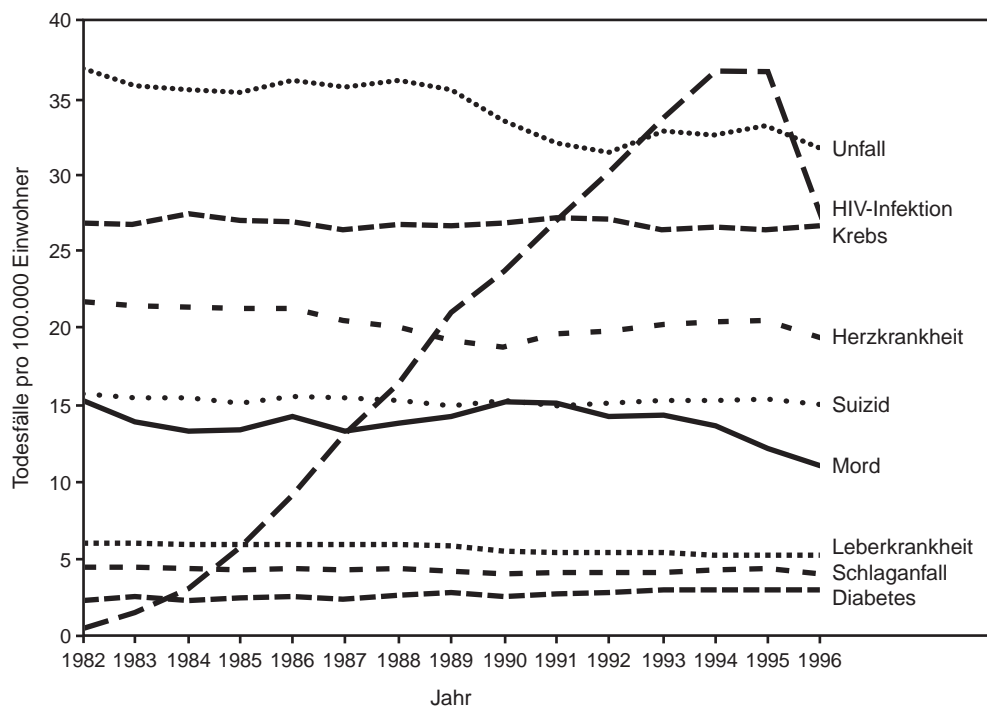


Abbildung D 3.2-1
Entwicklung der Todesfälle durch HIV in den USA (Männer, Altergruppe 25-44 Jahre).
Quelle: CDC, 1996

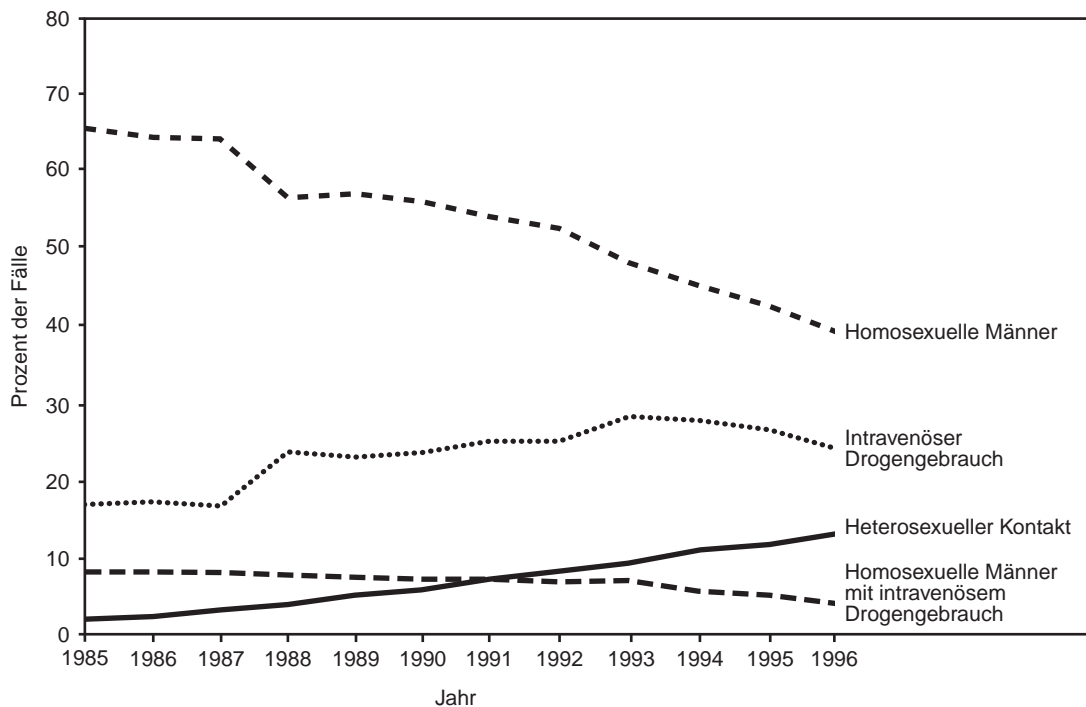


Abbildung D 3.2-2
Entwicklung der HIV-Infektionen in verschiedenen Risikogruppen in den USA.
Quelle: CDC, 1997

Überwachung von Blutkonserven und -produkten, die auf dem Nachweis von HIV-Antikörpern beruht, kann deshalb auch heute noch keine absolute Sicherheit verbürgen.

Genetische Instabilität

Die genetische Instabilität der Retroviren ist bedingt durch die Fehleranfälligkeit der beiden zentralen Transkriptionsvorgänge im Infektionszyklus (reverse Transkription des RNA-Genoms bzw. Transkription der Provirus-DNA) und DNA-Rekombinationsergebnissen zwischen Subtypen innerhalb eines infizierten Organismus. Im folgenden werden die Konsequenzen erläutert, die die genetische Instabilität für die Persistenz des Virus hat. Diese Fakten verdeutlichen sehr eindrucksvoll, daß der Retrovirusgrundlagenforschung auch weiterhin hohe Priorität einzuräumen ist. Im einzelnen ermöglicht die genetische Instabilität

- eine schnelle Anpassung des Virus an sich ändernde Selektionsdrücke;
- die Umgehung einer langfristigen effektiven, natürlichen Immunität durch schnelle Änderung immunogener viraler Epitope (Bestandteile der Virusmembran, die das Immunsystem stimulieren);
- eine hohe Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Resistenzen gegen antivirale medikamentöse Therapien und Erschweren der Entwicklung eines Impfstoffs;
- die Übertragung zwischen Arten (z. B. zwischen Affe und Mensch);
- eine Weiterentwicklung des Virus und das Entstehen neuer Subtypen mit negativ veränderten Eigenschaften (z. B. erhöhter Virulenz durch veränderte oder erweiterte Zellspezifität).

Koinfektionen

Die Schwächung des Immunsystems durch HIV führt nicht nur zu einer Zunahme opportunistischer Infektionen sondern begünstigt auch „alte“ Erreger, wie v. a. die Tuberkulose. Sie ist die häufigste Todesursache HIV-infizierter Individuen (40% in Nordafrika und 30% aller HIV-Infizierten). In den asiatischen Ländern mit ihren großen Ballungszentren und zunehmender HIV-Infektion sind $\frac{3}{4}$ aller Tuberkulosefälle der Welt zu finden. Tatsächlich wirken hier 2 Seuchen synergistisch, was nicht nur das Schadensmaß der HIV-Infektion erheblich verstärkt, sondern z. Z. auch die Epidemiologie der Tuberkulose massiv beeinflusst.

Neuerdings ist deutlich geworden, daß die starke Verbreitung konventioneller sexuell übertragbarer Krankheiten (STD), z. B. Syphilis und Gonorrhö, die Wahrscheinlichkeit einer Übertragung des HIV-Virus um den Faktor 10–100 erhöht. STD-Erkrankungen sind aufgrund der mangelhaften Behandlung in

Entwicklungsländern ein Schlüsselmechanismus bei der schnellen heterosexuellen Ausbreitung von AIDS. In einer Studie in Mwanza, Tanzania wurde durch die frühe Behandlung von STD in einer ländlichen Population ein Rückgang der Rate neuer HIV-Infektionen um 42% beobachtet (WHO, 1997b).

Die anthropogenen Risikoverstärker führen zu einer hohen Teilungsrate mit entsprechendem Selektionsdruck bei den HIV-Subtypen. Dies birgt wiederum ein biologisches Risikopotential, denn aufgrund der bekannten Mutagenität des Virus ist es nicht auszuschließen, daß neue Subtypen mit geändertem Virulenzverhalten entstehen. Ein derartiges Szenario beinhaltet auch die Möglichkeit neuer Infektionswellen in denjenigen Ländern, in denen die Infektioninzidenz z. Z. begrenzt werden konnte.

Maßnahmen

Die augenblickliche antiretrovirale *medikamentöse Therapie* stellt zweifellos einen Durchbruch dar, da sie die Zahl der opportunistischen Infektionen erheblich senkt. Sie kostet jährlich pro Person mindestens 12.000 US-\$ und steht damit für die meisten HIV-infizierten Menschen dieser Welt nicht zur Verfügung. In einem nordafrikanischen Land, in dem typischerweise ca. 10% der Bevölkerung mit HIV infiziert sind, werden nur rund 10 US-\$ pro Jahr und Einwohner für die Gesundheitsfürsorge aufgewendet. Bei den augenblicklichen Kosten würde dort das Budget für das Gesundheitswesen mehr als 100fach überschritten, um allein die HIV-infizierten Einwohner zu behandeln.

Die Verbreitungswege der HIV/AIDS-Krankheit sind mittlerweile durch ausgedehnte epidemiologische Untersuchungen bestens bekannt, und eine Reihe wirksamer Maßnahmen zur Prävention sind erprobt. Es mangelt allerdings in vielen Ländern an der wirksamen Umsetzung. In Indien wird bei der augenblicklichen Ausbreitungsgeschwindigkeit der HIV-Infektion im Jahr 2010 mit einem Anstieg der Ausgaben im Gesundheitswesen um 30% gerechnet (Ainsworth, 1998). Offensichtlich ist der derzeitige Umgang mit dem HIV/AIDS-Risiko weltweit sehr unterschiedlich und bedarf regional angepasster Strategien. Die Festlegung staatlicher Prioritäten ist notwendig. Die Entwicklungsländer sollten die knappen Ressourcen zur Begrenzung der AIDS-Epidemie auf die *Prävention* konzentrieren, hier ist die Entwicklung einer effizienten Infektionsvermeidung vorrangig voranzutreiben. Instrumente von globaler Bedeutung sind hierfür gesetzliche Regelungen zur Prävention, Schutz vor Neuinfektionen durch Aufklärung über Infektionsrisiken und Schutzmöglichkeiten sowie Beratung zur Stärkung der Eigenverantwortung. Programme, bei denen präventive Maßnahmen auf Personen mit hohem Übertragungsrisiko

ko konzentriert wurden, haben sich als sehr effektiv erwiesen (z. B. Verwendung von Kondomen bei Prostituierten in Nairobi oder Thailand) und sollten daher Priorität besitzen (Ainsworth, 1998). Eine absolut notwendige Voraussetzung für effektive Gegenmaßnahmen dieser Art ist die möglichst umfassende fortlaufende epidemiologische Überwachung der HIV/AIDS-Epidemie mit der Identifikation neuer und alter Risikogruppen.

Das in Atlanta, Vereinigte Staaten, etablierte Centers for Disease Control and Prevention (CDC) ist beispielhaft für mögliche nationale und internationale institutionelle Instrumente zur Überwachung der Bevölkerung hinsichtlich neuer und bereits bestehender epidemiologischer Risiken. Das CDC übernimmt routinemäßig Überwachungsdaten aus Krankheitsberichten, die es von lokalen Gesundheitsbehörden erhält, und überprüft die Datengüte durch Vergleich verschiedener Quellen. Dem CDC ist die rasche Erkenntnis zu verdanken, daß es sich bei den neu beobachteten Symptomen um ein sich epidemisch ausbreitendes Syndrom handelte. Das CDC definierte 1981 AIDS aufgrund des Auftretens seltener opportunistischer Erkrankungen und Infektionen (z. B. *Kaposi*-Sarkom und *Pneumocystis carinii*-Pneumonie) in Gruppen junger, homosexueller Männer an der amerikanischen Westküste. In den USA war für neu diagnostizierte AIDS-Fälle eine Meldepflicht eingeführt worden, mit der Anfertigung einheitlicher Fallberichte. Diese enthalten Daten zur Demographie, den Namen des diagnostizierenden Labors, die Risikogeschichte und den klinischen Status des Patienten sowie Angaben zur Therapie. Studien ergaben, daß 90% aller Erkrankungen, die nach der CDC-Definition AIDS bedeuten, tatsächlich gemeldet werden. Aufgrund der nahezu vollständigen epidemiologischen Daten und den daraus abgeleiteten Übertragungswegen konnte der öffentliche Gesundheitsdienst in den USA bereits 1983 Empfehlungen für die Vermeidung der Infektion geben.

Am Beispiel des CDC wird sehr deutlich, daß spezialisierten international operierenden Kontrollinstitutionen, die auf hohem wissenschaftlichem Niveau und mit hoher Effizienz über die Analyse epidemiologischer Daten Kontrollfunktionen ausüben, eine Schlüsselposition zukommt. Derartige Institutionen sind bei der Kontrolle globaler Risiken erfolgreich, wenn sie eine Schnittstelle für Grundlagenwissenschaften, nationale und übernationale Behörden bilden.

Die Entwicklung und Umsetzung der epidemiologischen Überwachung von präventiven Maßnahmen und von Forschungsprojekten erfordern besonders in strukturschwachen Ländern die Unterstützung durch internationale Institutionen oder bilaterale Hilfe. Die globale Überwachung der HIV/AIDS-

Epidemie erfolgt durch die WHO und UNAIDS (Joint United Nations Programme on AIDS). Epidemiologische Daten werden von regionalen Büros und den Gesundheitsministerien der Mitgliedsstaaten gemeldet. Mit dem Global Programme on AIDS (GPA) der WHO wurden in über 150 Ländern Aktivitäten gegen AIDS finanziell gefördert. Das Ziel war die Etablierung nationaler AIDS-Programme, die Verbesserung der Kapazitäten für das Management und die Koordinierung internationaler Forschungsaufgaben. Das Programm endete formal mit der Gründung von UNAIDS im Jahr 1996. Die WHO unterstützt und arbeitet mit UNAIDS durch ihr Office of AIDS and Sexually Transmitted Diseases (ASD) zusammen, das ebenfalls 1996 gegründet wurde. UNAIDS wird des Weiteren durch UNDP, UNICEF, UNESCO, UNFPA und die Weltbank unterstützt.

Die globale epidemiologische Überwachung durch die WHO ist von der Vollständigkeit und Verlässlichkeit der Daten abhängig, die von den nationalen Überwachungssystemen zur Verfügung gestellt werden. Die Schätzungen der Infektionsraten in Regionen ohne effektive Seuchenüberwachung basieren auf Modellrechnungen. Dabei wird die Entwicklung in denjenigen Ländern zugrundegelegt, die bereits über relativ umfangreiche Daten verfügen. Dennoch mußte die WHO ihre Schätzung der HIV/AIDS-Infektionen für die Jahre 1996 von 22,6 auf 27 Mio. und die Schätzung der Neuinfektionen 1996 von 3,1 auf 5,3 Mio. korrigieren. Hauptgrund war die Fehleinschätzung der Entwicklung in den afrikanischen Ländern südlich der Sahara. Für die Modellrechnung waren relativ umfangreiche Daten aus Uganda zugrundegelegt worden. In Uganda wurden in den letzten Jahren die Infektionsraten durch erfolgreiche präventive Maßnahmen unter Kontrolle gebracht. Die Berechnungen wurden jedoch durch die Situation in Nigeria und Südafrika verfälscht, wo erst seit kurzem aussagekräftige Daten zur Verfügung stehen (WHO, 1997a). Diese Vorgänge machen deutlich, daß die Erfassung vollständiger epidemiologischer Daten für eine qualitätvolle Risikobeschreibung unerlässlich ist.

3.2.2

„Hühnergrippe“ (Vogelinfluenza)

Influenzaviren umfassen eine größere Gruppe verschiedener Subtypen, die grippeartige Krankheitsbilder mit Infektionen der oberen Luftwege bis hin zur schwersten tödlichen Lungenentzündung erzeugen. Der Mensch wird von Typen des Influenza-A- und -B-Virus infiziert. Darüber hinaus infiziert Influenza A Schweine, Pferde, Meeressäuger und Vögel. In-

fluenza-A-Subtypen unterscheiden sich durch Strukturen auf ihrer Oberfläche, die biochemisch als Glykoproteine identifiziert wurden und nach denen die Influenzasubtypen benannt sind. Diese Glykoproteine funktionieren als Bindungsproteine für die Anheftung des Virus an die Körperzellen, die sie infizieren. Damit bestimmen sie die Ausbreitung des Erregers im Organismus, seine Virulenz und folglich sein Gefährdungspotential. Solche Glykoproteine sind die Hämagglutinine H1–H15 und Neuraminidasen 1–9. Bei Vögeln können alle diese Typen zur Infektion führen. Beim Menschen werden die Epidemien durch die Influenza-A-Subtypen H1, H2 und H3 und durch Influenza B hervorgerufen. Die Subtypen H5 und H7 führen gelegentlich bei Vögeln zu sehr schweren Epidemien, speziell Hühner und Truthühner sind betroffen.

Influenza-A-Infektionen haben ein relativ hohes Schadenspotential, da sie mit großer Regelmäßigkeit in ca. 15–20jährigen Abständen zu größeren Epidemien oder Pandemien führen. In der Vergangenheit waren diese mit einer sehr unterschiedlichen, teilweise hohen Mortalitätsrate behaftet und stellen somit ein größeres Risikopotential dar. Im Nachhinein waren größere Epidemien verschiedenen, meist völlig unbekanntem Influenza-A-Subtypen zuzuordnen. So wurde Influenza-A-Subtyp H3N2 erstmals bei der 1968 in Hongkong aufgetretenen Epidemie identifiziert. Im Rahmen einer anderen Epidemie wurde 1957 Influenza A H2N2 als kausales Agens identifiziert und erstmals charakterisiert. Phylogenetische Studien haben gezeigt, daß diese neu entstandenen Subtypen von Vogel-Influenza-A stammten und nach Rekombination mit einem humanen Influenza-Virusstamm in die menschliche Population eingedrungen sind (Webster und Laver, 1972; Scholtissek et al., 1978). Die derzeit favorisierte Hypothese für die Entstehung der pandemischen Influenzaviren von 1957 und 1968 geht davon aus, daß Schweine als ein „Mischkessel“ für die Rekombination zwischen Vogel- und humanem Influenzavirus dienen. Der Rekombinationsvorgang mit einem humanen Influenzavirus war bei größeren Epidemien der Vergangenheit oft eine Voraussetzung für eine wirkungsvolle Mensch-Mensch-Übertragung.

Die schwerste Influenzapandemie, von einigen Autoren als die schwerste Pandemie der Menschheit überhaupt bezeichnet, fand 1918 statt (*Spanische Grippe*) und forderte ca. 20 Mio. Opfer. Durch Untersuchung von konserviertem Lungengewebe mit Hilfe moderner molekularbiologischer Methoden konnte 1997 der auslösende Erreger rückwirkend als Influenza-A-Subtyp identifiziert werden. Es wird vermutet, daß dieses Virus ohne Rekombination mit einem humanen Influenzavirus in die humane Population eingedrungen ist (Taubenberger et al., 1997).

Folgende Vorgänge haben zu der Feststellung geführt, daß Vogelinfluenzasubtypen unmittelbar den Menschen infizieren können und ein Rekombinationsschritt nicht notwendigerweise zwischengeschaltet sein muß. Im Mai 1997 wurde in Hongkong ein H5-Subtyp aus den Atemwegen eines tödlich infizierten Kinds isoliert. Kurz zuvor waren in der Umgebung Influenzaepidemien auf Hühnerfarmen bekannt geworden. Ein molekularbiologischer Vergleich von Virusisolaten aus Hühnern mit dem Virus des Kinds zeigte, daß die Gensequenzen bis auf 3 Aminosäurepositionen identisch waren. Folglich war das Virus, das zum Lungenversagen des Kindes geführt hatte, genetisch identisch mit einem H5-Vogelinfluenzavirus (Claas et al., 1998). Im Herbst 1997 wurden 16 weitere Fälle schwerster Lungenentzündungen bekannt, bei denen die Virusisolate vom H5-Typ waren (Marwich, 1998; Yuen et al., 1998). Damit war klar, daß H5-Vogelinfluenza-A-Subtypen im Einzelfall aufgrund ihrer Adaptationsfähigkeit die Vogel-Mensch-Speziesbarriere überschreiten können. Als Konsequenz dieser Erkenntnisse und aufgrund der Tatsache, daß bei 10% der zum Verkauf angebotenen Tiere H5-Subtypen nachgewiesen werden konnten, wurde alles Geflügel in Hongkong getötet. Die Tatsache, daß bisher keine weiteren Krankheitsfälle aufgetreten sind, unterstützt die Annahme, daß der Erreger bisher glücklicherweise nur vom Tier auf den Menschen, nicht aber von Mensch zu Mensch übertragen wird.

Welche Voraussetzungen müssen für ein derart effizientes Vorgehen bei Risikoabschätzung und -bewältigung gegeben sein, wie im Fall der „Hühnerinfluenza“? Entscheidend war ein schnelles, mit örtlichen Behörden abgestimmtes Vorgehen einer Expertengruppe des CDC. Die frühe Einbeziehung spezialisierter Wissenschaftler durch die amerikanische Überwachungsbehörde mit den unmittelbar von ihr unter Anwendung modernster wissenschaftlicher Methoden vor Ort durchgeführten epidemiologischen Studien haben in diesem Fall, wie auch bei der Aufdeckung der Ursachen von AIDS, zum schnellen Erfolg geführt. Die Bereithaltung derartiger Instrumentarien in enger Kooperation mit der Grundlagenforschung sind dringende Handlungsempfehlungen für das frühe Risikomanagement von Infektionen mit neuen Erregern.

Die oben beschriebene kleine Epidemie mit H5-Hühnerinfluenza in Hongkong im Jahr 1997 war durch eine hohe Letalität gekennzeichnet (ca. 40% Todesfälle), ähnlich wie bei der 1918 beobachteten Pandemie. Weitere Influenzapandemien sind mit Sicherheit zu erwarten, die Eintrittswahrscheinlichkeit für die genetische Rekombination eines sehr virulenten Vogelvirus mit einem humanen Influenza-A-Subtyp ist als hoch einzuschätzen (Walker und Chri-

stie, 1998). In einem solchen Fall ist damit zu rechnen, daß die Übertragung von Mensch zu Mensch groß und das Schadenspotential sehr hoch sein wird. Anders als 1918 würde ein derartiges Virus jetzt auf eine hochmobile, stärker in Ballungsräumen konzentrierte Weltbevölkerung treffen. Diese Faktoren dürften als anthropogene Verstärker zu einem Schaden globalen Ausmaßes führen.

Der gegenwärtige Umgang mit Influenzaepidemien kann nur in vorbeugenden Maßnahmen, d. h. in einer Impfung bestehen, die spezifisch gegen die relevanten Subtypen gerichtet ist. Zur Zeit steht ein Impfstoff gegen H1-Stämme zur Verfügung, die natürlich nur gegen ein begrenztes Spektrum der humanpathogenen Influenza-A-Subtypen schützen kann. Heute existiert gegen neu auftretende Subtypen noch keine effiziente Therapie, weil antivirale Chemotherapeutika nicht wirksam sind und es gegen diese Subtypen keine Impfung gibt. Pandemien mit neuen Subtypen kann z. Z. nur durch Isolation infizierter Individuen und durch Elimination potentieller Reservoirs (z. B. infiziertes Geflügel) begegnet werden. Die dargestellten Fakten verdeutlichen die große Bedeutung der infektionsimmunologischen Forschung und der Entwicklung von Impfstoffen. Empfehlenswert ist beispielsweise eine unverzügliche Entwicklung von Vakzinen gegen Influenza-H5-Stämme (Belshe, 1998).

3.2.3

Bovine Spongiforme Enzephalopathie/neue Variante der Creutzfeldt-Jakob-Krankheit

Verschiedene Formen *spongiformer Enzephalopathien*, charakterisiert durch bestimmte morphologische Veränderungen im Gehirn, sind beim Menschen und bei Tieren bekannt. 6 verschiedene Formen treten beim Menschen auf, wobei die jüngste erstmals 1996 als eine neue Variante der Creutzfeldt-Jakob-Krankheit (nv-CJD) beschrieben wurde. Die spongiformen Enzephalopathien kommen teilweise familiär vor, teilweise ist für sie ein infektiöser Übertragungsmodus nachgewiesen worden. Eine durch Kannibalismus übertragene Krankheit in Neuguinea (Kuru) und die Übertragung erblicher spongiformer Enzephalopathien des Menschen auf Affen sind Beispiele für die Infektiosität (Masters et al., 1981). Diesen Krankheiten gemeinsam ist die besondere Natur des infektiösen Agens, die noch nicht vollkommen geklärt ist. Man geht heute davon aus, daß es sich dabei nicht um konventionelle Viren handelt, sondern um eine veränderte Form eines normalen Eiweißkörpers, ein sog. Prion. Prione sind gegen thermische und chemische Einflüsse sehr resistente Eiweißkörper (Proteine), die in ihrer normalen Form natürliche

Bestandteile von Nervenzellen sind. Das humane Prionprotein ist ein Glykoprotein aus 253 Aminosäuren. Es wird auf der Zelloberfläche exprimiert, und seine Funktion ist nicht bekannt. Interessanterweise können Mäuse, bei denen das Gen für normales Prionprotein ausgeschaltet ist, nicht mit infektiösen Prionen infiziert werden. Dem Vorgang der Infektion liegt eine Änderung der Konformation (chemische Struktur) der Prionproteine zugrunde (Konversion). Für die Infektiosität existieren teilweise Speziesbarrieren, z. B. kann Mausprionprotein zwar durch die infektiöse Form des Mausprionproteins umgewandelt (infiziert) werden, nicht jedoch durch die infektiöse Isoform des Hamsterprionproteins. Selten kann der Konversionsprozeß auch als ein spontanes Ereignis ohne Mitwirken eines infektiösen Prions von außen ablaufen. Dies geschieht bei Angehörigen der familiären Prionkrankheiten, die bereits ein mutiertes Prionprotein tragen.

Die Prionenkrankheiten, auch als transmissible spongiforme Enzephalopathien bezeichnet, sind insgesamt sehr seltene Erkrankungen. Durch das Auftreten der neuen Bovinen Spongiformen Enzephalopathie (BSE) in Großbritannien haben sie ein größeres öffentliches Interesse erlangt. Der Beirat hat BSE als Thema gewählt, weil die Entstehung von BSE beispielhaft Risiken der Intensivtierhaltung widerspiegelt. Auch kann der frühe Umgang mit dieser neuen Krankheit als lehrreiches Beispiel für Folgen einer möglicherweise nicht angemessenen Risikoeinschätzung gelten.

BSE kann experimentell auf viele Säugetierspezies übertragen werden, auch auf Affen (Lasmez et al., 1996), wo sie ein ähnliches klinisches Erscheinungsbild erzeugt, wie es erstmals 1996 bei Menschen als nv-CJD beschrieben wurde. Gangunsicherheit und psychiatrische Probleme stehen zu Beginn der Krankheit im Vordergrund, später entwickeln sich Demenz- und Muskelkrämpfe. Auch das pathologische Bild der spongiformen Enzephalopathie dieser Tiere entspricht dem der nv-CJD. Die Experten gehen allerdings nicht davon aus, daß diese Beobachtungen bereits Beweis für die Annahme sind, daß die nv-CJD die humane Form von BSE ist. Überzeugender sind vielmehr die Ergebnisse experimenteller Übertragungsversuche von spongiformen Enzephalopathien verschiedener Tierarten (Schaf, Rind) und der klassischen CJD sowie der nv-CJD auf genetisch identische Mäuse. Dabei zeigte sich, daß nur bei der Übertragung von BSE und von nv-CJD die bei den Tieren erzeugten pathologischen und klinischen Veränderungen identisch waren. Maßgebliche Wissenschaftler nehmen deshalb an, daß nv-CJD und BSE vom selben Erregerstamm verursacht werden, der darüber hinaus auch die spongiformen Enzephalopathien bei Katzen und andere erst seit wenigen Jahren

Tabelle D 3.2-2
Bestätigte BSE-Fälle in Großbritannien.
Quellen: MAFF, 1996, 1998

Jahr	BSE-Fälle
1988	2.469
1989	7.137
1990	14.181
1991	25.032
1992	36.680
1993	34.370
1994	23.945
1995	14.300
1996	8.016
1997	3.373

in Großbritannien beobachtete neue Krankheiten bei anderen Wiederkäuern verursacht.

Der erste BSE-Fall wurde von der britischen Regierung im November 1986 bekanntgegeben (Wells et al., 1991). Im Zeitraum von 1988–1997 wurden mehr als 170.000 BSE-Fälle bestätigt (Anderson et al., 1996). Ungefähr 440.000–580.000 infizierte Tiere dürften in Großbritannien vor dem specified bovine offals (SBO) ban (Verbot der Fütterung von Tiermehl an Wiederkäuer) im Jahr 1989 für die menschliche Nahrung verwertet worden sein und mindestens 250.000 weitere bis Ende 1995. Danach ging ab 1993 die Zahl der BSE-Fälle stark zurück (Tab. D 3.2-2). Es wird z. Z. geschätzt, daß in England jährlich das Fleisch von 200–300 infizierten Rindern, die kein Krankheitssymptom aufweisen, auf den Markt kommt. In anderen Ländern wurden nur kleine Zahlen BSE-infizierter Rinder gemeldet, wobei die Schweiz bis 1997 mit ca. 250 führend war. 1998 wurden allerdings in Frankreich bis zum Oktober 13 und in Portugal 67 neu infizierte Tiere bekannt. Seit kurzem ergeben sich ernsthafte Anhaltspunkte für eine stärkere Verbreitung des BSE-Erregers in Portugal. Die Europäische Kommission sah sich aufgrund offensichtlicher Verstöße gegen geltende Sicherheitsvorschriften in Portugal gezwungen, ein Ausfuhrverbot für Rindfleisch und Lebendvieh zu verhängen.

Epidemiologische Daten zur Creutzfeldt-Jakob-Krankheit werden seit 1990 in Großbritannien und seit 1992 oder 1993 in anderen Ländern Europas er-

hoben. In der Bundesrepublik gibt es seit 1993 eine vom Gesundheitsministerium unterstützte Arbeitsgruppe zur Epidemiologie und Pathologie der CJD, und seit 1994 ist diese Krankheit in der Bundesrepublik meldepflichtig. Versuche, das vom Robert-Koch-Institut geführte Melderegister mit der laufenden epidemiologischen Untersuchung abzugleichen, sind aus Datenschutzgründen nicht ohne Schwierigkeiten möglich. Daten einer seit 1993 von der EU gestarteten konzentrierten Aktion der Länder Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Italien und Niederlande sind in Tab. D 3.2-3 dargestellt.

Im März 1996 wurden von der Creutzfeldt-Jakob-Surveillance-Unit in Großbritannien 10 Fälle einer neuen Variante von CJD berichtet (Will et al., 1996). Ein Fall wurde in Frankreich beobachtet. Obwohl nicht alle Fälle in der Fachpresse veröffentlicht wurden, gibt es weitere von der CJD-Surveillance-Unit in Edinburgh an die im EU-Programm zusammen arbeitende Gruppe vertraulich mitgeteilte Fälle. Danach sind bisher in Großbritannien insgesamt 29 durch Autopsie gesicherte nv-CJD-Fälle bekannt geworden. In Deutschland wurde bisher kein Fall der nv-CJD beobachtet.

Zur Frage, wieviele Fälle von nv-CJD in Zukunft zu erwarten sind, können in England wegen der Ungewißheit in wichtigen Punkten nicht einmal größenordnungsmäßige Aussagen getroffen werden. Sollte, wie heute von der Mehrzahl der Experten vermutet, nv-CJD durch Übertragung von BSE auf den Menschen auslösbar sein, ist zumindest in exponierten Ländern keine Vorhersage möglich, da die Inkubationszeit nicht bekannt ist. Sollte sich diese Vermutung bestätigen, könnten allerdings viele Menschen an nv-CJD erkranken, denn es sind ca. 750.000 infizierte Tiere für die menschliche Ernährung verarbeitet worden. Zur Frage der Risikobewertung sind deshalb 1998 erhebliche Mittel von der EU zur Verfügung gestellt worden.

Weder die Infektiosität noch das klinische Verhalten der neuen Variante von CJD sind bisher ausreichend erforscht, um die Zahl zukünftiger Erkrankungen hinreichend sicher einzuschätzen. Es muß offenbar eine ganz bestimmte genetische Konstellation (Methioninhomozygotie am Kodon 129 des Gens)

	Deutschland	Frankreich	Italien	Niederlande	Großbritannien
1993	0,65	0,78	0,54	0,87	0,78
1994	0,76	1,04	0,53	1,0	1,02
1995	0,98	1,07	-	0,4	0,77
1996	0,87	1,18	0,76	-	0,67

Tabelle D 3.2-3
Auftreten der Creutzfeldt-Jakob-Krankheit in europäischen Ländern (Fälle pro Jahr pro Mio. Einwohner). Die von Großbritannien bekannt gegebenen Zahlen schließen die Fälle der neuen Varianten nicht mit ein.
Quelle: Kretzschmar, persönliche Mitteilung

vorliegen, damit Individuen an nv-CJD erkranken. Anders als bei der klassischen Form der CJD ist der Erreger der nv-CJD in Rachenmandeln, Lymphknoten und Milz nachweisbar. Es ist damit nicht unwahrscheinlich, daß das infektiöse nv-CJD-Prion – vielleicht nur vorübergehend – auch im Blut vorhanden ist. Über die Erregerdichte in anderen Organen ist praktisch nichts bekannt. Es ist zu bedenken, daß die bislang von der nv-CJD befallenen Personen durchgehend sehr jung waren und zu dem Personenkreis zählen, der häufig Blut spendet. Sollte bei nv-CJD der Erreger tatsächlich in größerer Dichte im Blut oder anderen Geweben und Organen auftreten, wären bedrohlich epidemieartige Folgen, z. B. durch Blutübertragungen, nicht auszuschließen.

In der Bundesrepublik wird seit 1993 mit Unterstützung durch das Bundesministerium für Gesundheit eine Studie zur Epidemiologie, Frühdiagnose und molekularen Pathologie der humanen Prionkrankheiten durchgeführt. Es werden Verdachtsfälle durch eine Gruppe spezialisierter Ärzte klinisch untersucht, eine Untersuchung des Priongens wird vorgenommen und nach dem Tod der Patienten wird eine Autopsie angestrebt. Ein stärkerer Anstieg der CJD bzw. das Erscheinen einer neuen Variante würden zwar mit großer Wahrscheinlichkeit entdeckt werden, aber eine sichere Diagnose der CJD ist derzeit nur durch die autopsische Untersuchung des Gehirns möglich. Erschwerend kommt hinzu, daß in der Bundesrepublik der Anteil der Autopsien sehr gering und weiterhin im Sinken begriffen ist. Es ist deshalb sehr wahrscheinlich, daß trotz der Existenz der BMG-geförderten Arbeitsgruppen doch ein größerer Teil an nv-CJD erkrankten Menschen unentdeckt bleiben würde und damit weiterhin ein großer Unsicherheitsfaktor verbleibt.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß derzeit in den USA ein Defizit an spezifischen infektiologischen Trainingsprogrammen in der Medizin festgestellt wird. Insbesondere wird der Mangel in der Infektionspathologie beklagt, der sich negativ auf die laufenden epidemiologischen Studien auswirkt. Dies hat zur Einrichtung einer neuen Sektion für Infektionspathologie in Atlanta und zum Ausbau vorhandener Einrichtungen geführt (Schwartz, 1997). Die Ausweitung derartiger Aktivitäten und die Stärkung der medizinischen Ausbildung in allen Bereichen der Infektiologie ist empfehlenswert, um zukünftigen Herausforderungen „neuer“ und „alter“ Seuchen wirkungsvoll zu begegnen.

Am bisherigen Umgang mit dem Risiko BSE/nv-CJD üben maßgebliche Wissenschaftler in einzelnen Punkten deutliche Kritik. Die Forschungsanstrengungen in England waren bis 1997 eher dürftig, es wurden bis Ende 1997 nur 38 Mio. £ aufgewendet. Für die Tötung von Rindern wurden dagegen allein

1997 1,5 Mrd. £ ausgegeben. Leider existiert bisher kein kommerziell verfügbarer BSE-Test, der für Untersuchungen an lebenden Rindern oder Menschen geeignet ist. Entsprechendes gilt für die Diagnostik während der Inkubationszeit, hier kann weder an frisch geschlachteten noch lebenden Tieren eine diagnostische Aussage gemacht werden. Erst in jüngster Zeit sind diagnostische Ansätze vorhanden, es wurde beispielsweise ein Western-Blot-Test zum Nachweis infizierten Hirngewebes entwickelt. Auch das diagnostische Defizit soll durch ein im Februar 1998 bewilligtes EU-Programm von 21,9 Mio. ECU behoben werden. Insgesamt hat die EU im 4. Forschungsrahmenprogramm 50 Mio. ECU bereitgestellt, in Deutschland wurden bzw. sind für den Zeitraum 1993–2000 für die Erforschung von Prionerkrankungen Mittel in Höhe von rund 15 Mio. DM bewilligt.

Unter diesen Umständen der begrenzten Handlungsmöglichkeiten hat man sich in Deutschland letztlich auf die Meldung von BSE-Verdachtsfällen durch Rinderhalter und Veterinäre verlassen. Diese Vorgehensweise kann natürlich nur so gut sein wie die Meldemoral. Darüber hinaus sind die Primäruntersuchungen z. Z. nicht zentralisiert, sondern werden in den einzelnen Landesuntersuchungsämtern durchgeführt, mit der Folge, daß die Vollständigkeit der Prüfungen schwer kontrollierbar ist. Bis heute ist kaum bekannt, in welcher Dichte der Erreger in verschiedenen Organen BSE-erkrankter Tiere auftritt. Die Bundesrepublik hat es im wesentlichen bisher Großbritannien überlassen, diese Wissensdefizite zu beheben. Dort lag das Forschungsmonopol lange in staatlicher Hand und hat bisher unzureichende Ergebnisse gezeigt. Es ist zu fragen, ob im Sinn der Gesundheit ganzer Nationen im Widerstreit mit den stark ökonomisch gefärbten Interessen Großbritanniens nicht die gesundheitspolitisch geprägten Interessen anderer Mitgliedsstaaten der EU hätten deutlicher in den Vordergrund treten müssen. 1990 wurde den Briten die Bestimmung der Erregerdichte in verschiedenen Organen der Rinder durch Impfungen in Kälbergehirne vorgeschlagen, entsprechende Experimente sollen erst jetzt, 1998, durchgeführt werden.

Weiterhin kritikwürdig ist, daß über einen größeren Anteil legal oder illegal in europäische oder außereuropäische Länder verkaufte BSE-haltige Futtermittel und im Einzelfall infizierte Rinderschlachtplprodukte BSE aus anderen Ländern importiert werden könnte. Ein Szenario, in dem relativ billige, potentiell gefährliche Futtermittel Anfang der 90er Jahre von Osteuropa aufgekauft und verfüttert wurden, ist vorstellbar und wird von vielen Fachleuten durchaus für wahrscheinlich gehalten. Das Ausmaß der Gefährdung für die Bewohner osteuropäischer Länder und auch der EU ist letztlich nicht abschätzbar. Ebenfalls fraglich ist, ob BSE durch die

Verfütterung infizierten Knochenmehls von Rindern auf Schafe übertragen wurde und welche Gefahren hiervon ausgehen können.

Ein offener, alternativer Umgang mit neuen Gesundheitsproblemen und eine frühzeitige Förderung unabhängiger Forschung sind angemessene Konsequenzen, die jede Regierung aus der BSE-Seuche ziehen sollte.

3.3

Zuordnung zu den Risikotypen

HIV/AIDS und Influenza A als Risikotyp Zyklon mit Übergängen zum Typ Cassandra HIV/AIDS kann als eindrucksvolles Beispiel dafür angesehen werden, daß ein bis dato vollkommen unbekanntes Risiko (Risikotyp Pandora) durch kontinuierlichen Erkenntnisgewinn relativ schnell über den Pythia- in den Zyklon- und teilweise auch Cassandra-Typ überführt werden kann. Das Schadensausmaß wird zunehmend abschätzbar, die Abschätzungssicherheit insgesamt größer. Dies war das Ergebnis einer vorbildlichen Koordination von Grundlagenforschung (Retrovirusforschung seit 60 Jahren) und angewandter Forschung mit der hocheffizienten Erhebung epidemiologischer Daten z. B. durch das CDC. Erfahrungen, die durch international koordinierte Maßnahmen zur Erhebung von Daten und Eindämmung der Infektion gesammelt wurden, trugen schnell zur Präzision der Risikowahrnehmung der HIV/AIDS-Pandemie bei. Die Auswirkungen der Seuche, wenngleich in Bezug auf Ubiquität sehr variabel, können jetzt insgesamt als sehr hoch eingeschätzt werden. Die Persistenz ist ebenfalls als sehr groß, möglicherweise sogar als permanent anzusehen, sollte es nicht gelingen, das Virus zu eliminieren. Das Ausmaß der sozialen Schäden zumindest in den stark durchseuchten Gebieten betrifft mehrere Generationen und verdeutlicht die dringende Notwendigkeit, staatliche Prioritäten in der Infektionsbekämpfung zu setzen. Bei politischer Unterschätzung kann AIDS deshalb durchaus Züge des Cassandra-Typs annehmen. Grundsätzlich ist die Reichweite der Seuche global, es bestehen aber effektive Maßnahmen, die zumindest regional eine drastische Eindämmung ermöglichen. Durch Verbreitung dieser eindämmenden Maßnahmen muß eine Umwandlung in den normalen Risikobereich erreicht werden. Solange dies nicht gelingt, stellt AIDS ein Risiko dar, das in einzelnen Aspekten immer noch dem Pythia-Typ zugeordnet werden kann. Beispielsweise läßt die Mutagenität noch die Möglichkeit einer Veränderung der Erreger offen, die zu einem veränderten Ansteckungsmodus mit anderen Übertragungswegen führen kann. Die Eintrittswahrscheinlichkeit für

das Auftreten einer derartigen HIV-Variante mit der Folge eines noch gesteigerten Schadensausmaßes ist unbekannt.

Die Eintrittswahrscheinlichkeit für eine hochvirulente Influenza-A-Infektion, z. B. vom Typ der Spanischen Grippe, ist aufgrund vorausgegangener Erfahrungen und neuerer molekulargenetischer Erkenntnisse relativ gut abzuschätzen. Der Eintritt eines solchen Ereignisses ist durch biologische Faktoren vorgegeben, d. h. das Risikopotential ist teilweise biologisch bedingt. Beim Auftreten neuer Virustypen mit einem Ausbreitungsmodus von Mensch zu Mensch wird möglicherweise ein sehr hohes Schadensausmaß erreicht. Die Eintrittswahrscheinlichkeit hierfür kann jedoch nicht angegeben werden. Das Risikopotential für einen schweren Schaden wird in jedem Fall durch menschliche Faktoren (starke Mobilität, urbane Ballung) erhöht. Die politische Bedeutung von Influenzainfektionen dürfte mit einem derzeit eher geringen Mobilisierungspotential in der Bevölkerung dem vorhandenen Risikopotential nicht ganz entsprechen. Damit finden sich auch für dieses Risiko Übergänge zum Cassandra-Typ.

BSE/nv-CJD als Risikotyp Pythia

BSE/nv-CJD ist z. Z. in exponierten Gebieten wie England aufgrund einer hohen Unsicherheit bezüglich der Eintrittswahrscheinlichkeit eines hohen Schadensausmaßes als Pythia-Typ einzustufen (Tab. D 3.3-1). Auch wenn die Verhaltensweise, die zum Risiko führt (Verfütterung infizierten Tiermehls), inzwischen wahrscheinlich eingestellt wurde (Ausnahme Portugal), so ist aber das Ausmaß der Auswirkungen wegen einiger Kenntnislücken und der langen und letztlich noch unbekanntem Latenz nicht sicher abzuschätzen. Die Unsicherheit der Eintrittswahrscheinlichkeit eines großen Schadens und der Höhe des Schadensausmaßes ist hier ähnlich wie in der Frühphase von AIDS durch die lange Latenzzeit zwischen Infektion und Ausbruch der Erkrankung bedingt. In dieser Phase kommt es (unerkannt) zur weiteren Verbreitung, bei BSE zur breiten Einführung in die Nahrungskette des Menschen und möglicherweise zur Verbreitung bei anderen Tierarten (z. B. Rind-Katze, noch unklar Rind-Schaf). Diese anthropogenen Faktoren machen die Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens von deutlich übernationalen Dimensionen zunächst unsicherer. Auch wenn bisher eine stärkere Zunahme der nv-CJD ausgeblieben ist, ist die Risikobewertung der übertragbaren spongiformen Enzephalopathien z. Z. weiterhin unsicher. Die EU hat deshalb im März 1998 ein Programm über 3,5 Mio. ECU Fördermittel zu diesem Thema ausgeschrieben. Ein weiterer großer Unsicherheitsfaktor, der BSE/nv-CJD in exponierten Gebieten eindeutig zum Pythia-Typ

Tabelle D 3.3-1

Anwendung der Kriterien auf das BSE-Risiko (in England). Es gehört zum Risikotyp Pythia. Legende s. Kasten D 2.1-1.
 Quelle: WBGU

Kriterium	Eigenschaften				
	Gering	Eher gering	Eher hoch	Hoch	Ungewiß
Eintrittswahrscheinlichkeit <i>W</i>					
Abschätzungssicherheit von <i>W</i>					
Schadensausmaß <i>A</i>					
Abschätzungssicherheit von <i>A</i>					
Ubiquität					
Persistenz					
Irreversibilität					
Verzögerungswirkung					
Mobilisierungspotential					

macht, sind noch weitgehend unbekannte medizinische Daten bei der menschlichen nv-CJD-Erkrankung. Die Infektiosität von Mensch zu Mensch mit einer möglichen Übertragung durch Blut ist noch unbekannt und würde dem Schaden eine weitere Dimension hinzufügen. Sollte sich herausstellen, daß die Infektiosität der Erreger hingegen streng an seltene genetische Voraussetzungen gebunden ist, darf von einem wesentlich geringeren Schadensausmaß ausgegangen werden. Eine vorerst restriktive Vorgehensweise, kontinuierliche sorgfältige epidemiologische Überwachung und eine rasche Weiterentwicklung der Evaluationsinstrumente (z. B. Nachweismethoden) und der Kenntnisse der Infektionsmechanismen sind notwendig.

4 Biologische Risiken

4.1 Einleitung

In diesem Kapitel werden Risiken behandelt, die von lebenden Organismen ausgehen oder die sich aus biologischen Prozessen und Reaktionen ergeben und auf den Menschen und andere Organismen einwirken. Diese Risiken betreffen das gesamte Spektrum der Lebewesen, von Mikroorganismen bis hin zum Menschen. Es kann im folgenden daher nur exemplarisch und unter dem Aspekt der globalen Risikotypisierung auf einige Problemfelder hingewiesen werden. Die Risiken, die sich speziell für die Menschen und ihre Gesundheit ergeben, wurden in Kap. D 3 gesondert dargestellt.

Landnutzungsänderungen und die mit ihnen verbundenen Habitatzerstörungen und -fragmentierungen sind derzeit die Hauptursache des fortwährenden Verlusts biologischer Vielfalt (Heywood und Watson, 1995). Die Risiken, die hieraus für Mensch und Natur erwachsen (z. B. die genetische Erosion, das Arten- und Sortensterben und der weltweite Verlust von Ökosystemfunktionen), sollen im Gutachten 1999 des Beirats ausführlich behandelt werden. Aber auch in der folgenden Risikoklassifizierung kommt dem Verlust biologischer Vielfalt als möglichem Schaden und als Risikoverstärker eine wichtige Bedeutung zu.

Eine strikte Trennung von natürlichen biologischen Risiken und solchen, die aus der Nutzung biologischer Ressourcen entstehen, ist nicht immer möglich und im Rahmen einer Risikoabschätzung auch nicht sinnvoll. Diese Einschätzung erfolgt vor dem Hintergrund, daß nahezu alle Biota der Erde direkt oder indirekt durch den Menschen überformt oder zumindest beeinflußt werden (Abb. D 4.1-1). Es gibt heute keinen Teil der Erde mehr, in dem der anthropogene Einfluß nicht bemerkbar ist: der Mensch ist – global gesehen – zum bestimmenden Faktor der Biosphäre geworden (Vitousek et al., 1997).

Darüber hinaus erlangen biologische Risiken erst durch den Einfluß des Menschen global relevante Ausmaße. Die Invasion nichtheimischer Arten bei-

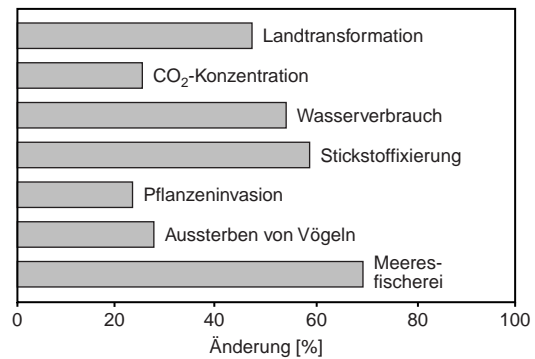


Abbildung D 4.1-1

Einfluß des Menschen auf die Biota der Erde. Dargestellt sind die anthropogenen Veränderungen wichtiger Kompartimente der Biosphäre in Prozent des vom Menschen unbeeinflussten Zustands (globale Umwandlung der Landoberfläche, Veränderung der atmosphärischen CO₂-Konzentration, weltweite Nutzung des verfügbaren Oberflächensüßwassers, terrestrische Stickstofffixierung, eingeschleppte Pflanzenarten in Kanada, in den letzten 2.000 Jahren ausgestorbene Vogelarten weltweit, überfischte oder ausgerottete marine Fischbestände).

Quelle: Vitousek et al., 1997

spielsweise wird dadurch ein globales Risiko, daß es an vielen Orten der Welt bei unterschiedlicher Artenkombination zu einer Gefährdung der einheimischen Arten kommt und daß dies durch den internationalen Handel und Verkehr ausgelöst wird.

Für die folgende Risikoklassifizierung werden beispielhaft 2 Risiken ausgewählt, die letztlich durch veränderte Wechselwirkungen (z. B. Konkurrenz, Räuber-Beute-Beziehung) zwischen anthropogen beeinflussten Arten und Arten aus einheimischen Lebensgemeinschaften entstehen:

1. Massentwicklungen von Arten und Populationen (Pathogene, Schädlinge, Unkräuter, nichtheimische Arten),
2. Freisetzung und Inverkehrbringen gentechnisch veränderter Pflanzen, bei denen der Mensch nicht nur evolutionäre und geografische Grenzen zwischen den Organismenreichen (Mikroorganismen, Tiere, Pflanzen) durchbricht, sondern auch neue DNA-Sequenzen implementiert.

4.2

Schadenspotentiale, gegenwärtiger Umgang mit und Charakterisierung von global relevanten biologischen Risiken

4.2.1

Risiken durch anthropogen beeinflusste Arten unter besonderer Berücksichtigung des Verlusts biologischer Vielfalt

4.2.1.1

Verlust von biologischer Vielfalt, Stabilität und Ökosystemfunktionen

Beobachtungen von Nahrungsnetzen lassen einen positiven Zusammenhang zwischen Artenvielfalt und Stabilität von Lebensgemeinschaften in den Ökosystemen gegenüber exogenen Störungen vermuten (z. B. anthropogene Nutzung, Eutrophierung, Feuer). Dieser Zusammenhang ist allerdings nicht generalisierbar, da es sowohl Beispiele für stabile artenarme als auch für instabile artenreiche Systeme gibt und sich die Artenvielfalt mit dem Grad der Störungen ändert (Begon et al., 1996). Die inzwischen von vielen favorisierte Hypothese, die derzeit in Ökosystemen experimentell getestet wird, ist die Intermediate Disturbance Hypothesis von Connell (1978). Danach wird die größte Artenzahl erreicht, wenn Ausmaß und Häufigkeit der Störungen mittlere Werte haben; Extremwerte führen zu geringen Artenzahlen. Der Zusammenhang zwischen Störungsfrequenz und -stärke einerseits und der Artendiversität andererseits ist also nicht linear. Wichtiger für die Stabilität von Lebensgemeinschaften erscheint die Komplexität, d. h. die Zahl der Strukturen, Arten und Wechselwirkungen zu sein. Letztlich wird der Zusammenhang zwischen Stabilität und Komplexität durch Art, Intensität und Frequenz der Störung einerseits und die spezifischen Anpassungen und Fähigkeiten der betroffenen Arten andererseits bestimmt. Zudem ist eine Differenzierung des Begriffs „Stabilität“ notwendig (Pimm, 1991): Man unterscheidet Konstanz (Unveränderlichkeit), Resistenz (Trägheit gegenüber Störungen) und Resilienz (Elastizität; Geschwindigkeit der Rückkehr zum Ausgangszustand nach einer Störung). Für eine Risikoabschätzung ist die Beobachtung wichtig, daß unter stabilen Umweltbedingungen v. a. komplexe, gegenüber exogenen Störungen labile Lebensgemeinschaften vorkommen, während Biotope mit relativ variablen Umweltbedingungen eher durch einfache, artenarme, aber robuste Lebensgemeinschaften besiedelt werden. Letztere sind gewissermaßen bereits an

exogene Störungen angepaßt. Die anthropogene Nutzung biologischer Ressourcen gefährdet demnach komplexe Ökosysteme, wie beispielsweise tropische Regenwälder oder Korallenriffe, mehr als einfachere Lebensgemeinschaften (z. B. Buchenwälder in der gemäßigten Zone).

Die Umweltbedingungen wirken sich auch auf das Reproduktionsverhalten aus. Stabile Umweltbedingungen fördern bei den betroffenen Arten die sog. K-Selektion (langlebige Arten mit geringer Zahl von Nachkommen zu einem späten Zeitpunkt). Variable Umweltbedingungen fördern die sog. r-Selektion (kurzlebige Arten mit vielen Nachkommen zu einem frühen Zeitpunkt) (MacArthur und Wilson, 1967). Die K-selektierten Arten sind zwar zunächst relativ unempfindlich gegen Störungen, haben aber eine geringe Kapazität, sich nach einer Störung zu erholen. Die r-selektierten Arten besitzen eine geringe Widerstandsfähigkeit gegen Störungen, erholen sich aber relativ schnell (Begon et al., 1996; vgl. hierzu auch die C-S-R-Strategie nach Grime, 1977). Durch die zahlreichen anthropogenen Störungen wie Nutzung, Feu-

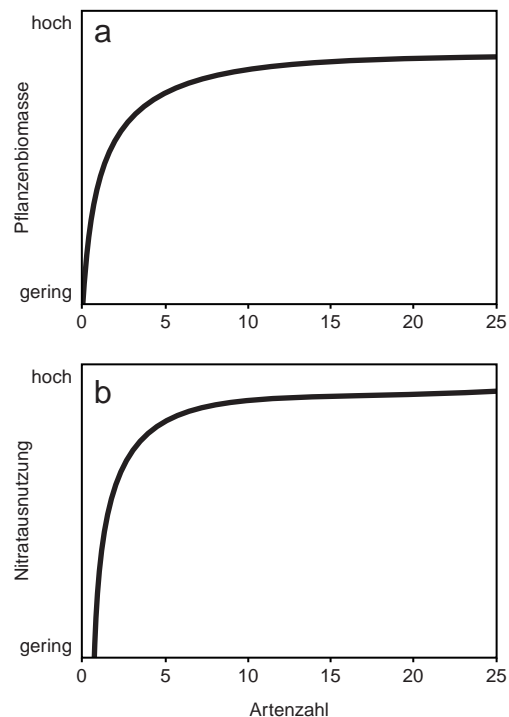
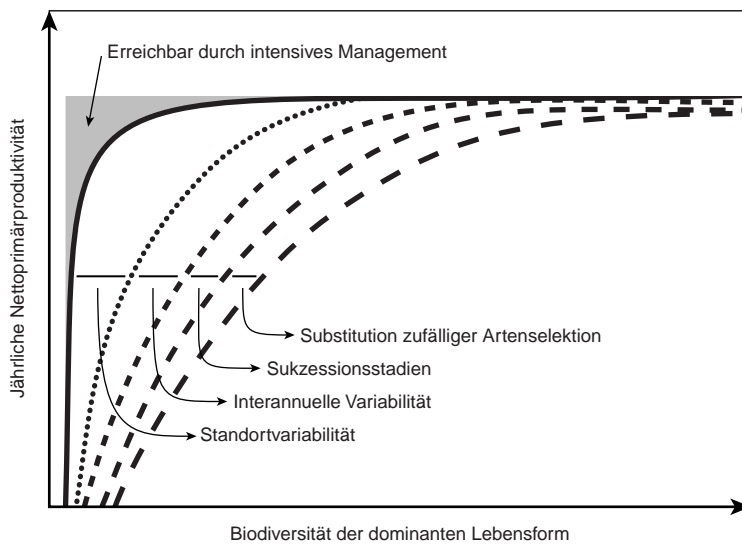


Abbildung D 4.2-1

a Biomasse der Vegetation und **b** Nitratausnutzung als Funktion der Artenzahl. Vermutlich führen unterschiedliche Wurzelstrukturen, gekoppelt an eine Veränderung in der Biomasse, zu einer besseren Ausnutzung der Stickstoffressource. Bezüglich einer Risikoabschätzung der Nitratbelastung des Grundwassers ist besonders wichtig, daß dieser Zusammenhang nicht linear ist.

Quellen: **a** verändert nach Tilman et al., 1997; **b** verändert nach Tilman et al., 1996



Abhängigkeit sich die NPP ändert. Je höher das gesamte Spektrum von Klima- und Standortvariabilität ist, desto mehr Arten bzw. Genotypen sind für eine hohe NPP erforderlich.
Quelle: Heywood und Watson, 1995

Abbildung D 4.2-2
Konzeptionelles Schema zur Abhängigkeit der mittleren Nettoprimärproduktion (NPP) von der Diversität der Pflanzenarten bzw. der Genotypen in der dominanten Lebensform. Die Mechanismen sind möglicherweise kombiniert. An einem Standort und innerhalb 1 Jahr können wenig diverse Ökosysteme durch intensive Bewirtschaftung fast die gleiche NPP erreichen wie hochdiverse Ökosysteme. Unter natürlichen Bedingungen jedoch erhöhen Klima- und Ressourcenvariabilität und die Sukzessionsdynamik nach Störungen die Biodiversität, in deren

er oder Stoffeinträge ergibt sich ein weltweiter Trend der einseitigen Förderung rasch regenerierfähiger Lebensgemeinschaften mit r-Selektion und damit eine qualitative Veränderung der Biodiversität („Homogenisierung“ der Lebensgemeinschaften).

Dieser Exkurs in die Populationsbiologie soll zeigen, daß es bei der Analyse und Bewertung biologischer Risiken auf die Charakteristika der Arten (z. B. genetische Ausstattung), auf die Komplexität der ökologischen Strukturen, die Variabilität der Umweltbedingungen und die Art und Intensität der Störungen ankommt.

Für eine Risikoabschätzung der Nutzung biologischer Systeme müssen auch die Ergebnisse der weltweiten Forschung zu Zusammenhängen zwischen Biodiversität und Funktion eines Ökosystems herangezogen werden (z. B. Schulze und Mooney, 1994; Mooney et al., 1996; Chapin et al., 1998). Die bisherigen Ergebnisse weisen darauf hin, daß eine Beziehung zwischen Artenzahl und Ökosystemfunktionen besteht, diese aber *nichtlinear* ist (Abb. D 4.2-1-4). Eine Risikoabschätzung des Einflusses von Störungen und Artenverlusten auf Ökosystemfunktionen ist daher extrem schwierig. Es zeigt sich, daß mit wenigen Arten zwar höchste Produktivität erreicht werden kann (z. B. in der Landwirtschaft), diese aber instabil gegenüber variablen Umweltbedingungen ist. Für eine nachhaltige Produktivität, die der räumlichen und zeitlichen Variabilität von Standort und Klima gerecht wird, ist eine bedeutend höhere Artenzahl (bzw. Anzahl von Genotypen) notwendig (insurance hypothesis, Abb. D 4.2-2). Unstetigkeiten in der Beziehung zwischen Artenzahl und Ökosystem-

funktionen können sich auch aus den komplexen Wirkungen der Zusammensetzung oder der Häufigkeitsverteilung der Arten ergeben (Abb. D 4.2-3). Wird durch eine Störung eine dominante Art ausgelöscht (z. B. bei Waldschäden), sind die Auswirkungen auf die Ökosystemfunktionen bedeutend größer als wenn eine seltene Art (z. B. eine Orchidee) fehlt. Stirbt jedoch eine Art aus, die im Ökosystem eine Schlüsselfunktion innehat (Schlüsselart oder keystone species), so werden trotz ihrer relativ geringen Gesamtbiomasse die Ökosystemfunktionen viel stärker beeinträchtigt als wenn Arten ausfallen, deren Funktion kompensierbar ist (z. B. die Mykorrhizapilze, die durch Stickstoffdepositionen in Wäldern beeinflusst werden). Bislang gibt es aber keine Möglichkeit, Schlüsselarten eines Ökosystems zu identifizieren, bevor sie verlorengegangen sind oder aus dem Ökosystem entfernt wurden. Eine Vorhersage der Auswirkungen von Störungen auf Ökosystemfunktionen ist damit sehr unsicher.

Aufgrund der komplexen Zusammenhänge zwischen Artenzusammensetzung, Reproduktionsverhalten, Konkurrenzsituation und Umweltveränderungen kann es zudem zu nicht vorhersagbaren Einzelereignissen (Singularitäten) kommen, bei denen es in Art eines Schalters (flip-flop) zu einem Umkippen zwischen unterschiedlichen Zuständen kommen kann (Abb. D 4.2-4). Ein Beispiel hierfür wäre die Entstehung eines Graslands nach Insektenfraß in einem borealen Wald (Pastor et al., 1996). Die Wahrscheinlichkeit solcher Einzelereignisse ist für marginale Standorte besonders hoch, auf denen der Mensch hochproduktive Arten anbauen möchte.

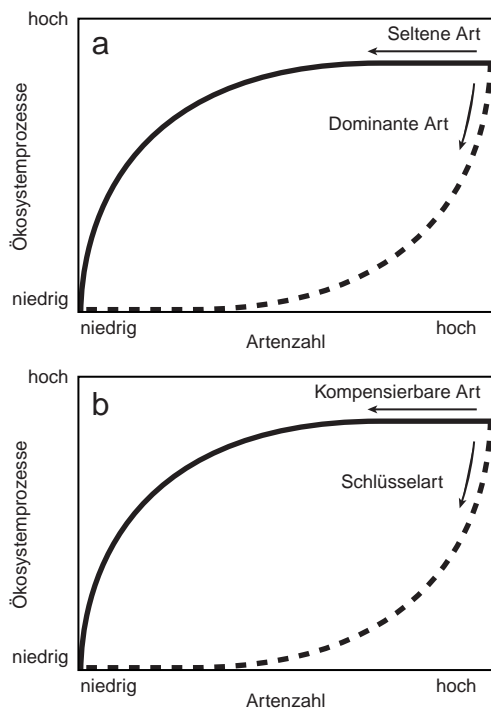


Abbildung D 4.2-3
 Bedeutung der Dominanz und Funktion einzelner Arten für die Ökosystemfunktionen. (a) Wird durch eine Störung eine dominante Art ausgelöscht, sind die Auswirkungen auf die Ökosystemfunktionen bedeutend größer, als wenn eine seltene Art fehlt. (b) Stirbt jedoch eine Schlüsselart aus, so werden trotz ihrer vergleichsweise geringen Gesamtbiomasse die Ökosystemfunktionen viel stärker beeinträchtigt, als wenn Arten ausfallen, deren Funktion kompensierbar ist. Die Pfeile geben die Richtung der Änderung der Ökosystemprozesse mit abnehmender Artenzahl an.
 Quelle: Heywood und Watson, 1995

Falls in Zukunft eine weitere Intensivierung der Landwirtschaft an ökologische und ökonomische Grenzen stößt, wird sich die Bewirtschaftung marginaler Standorte weltweit verstärken, mit entsprechend verstärktem Risiko (Sahel-Syndrom: WBGU, 1994, 1996b). Die Diskussion zur nachhaltigen Nutzung der Biodiversität wird wesentlicher Bestandteil des Jahresgutachtens 1999 des Beirats sein.

4.2.1.2 Zyklische Populationsentwicklungen

Die Beziehung zwischen den Organismen in einem Ökosystem wird im wesentlichen durch Ressourcenverfügbarkeit, Konkurrenz, Prädation (Räuber-Beute-Beziehung) und Parasitismus bestimmt. In ungestörten, stabilen Ökosystemen befinden sich die meisten Arten und Individuen in einem dynamischen Gleichgewicht. Natürliche zyklische Massenentwick-

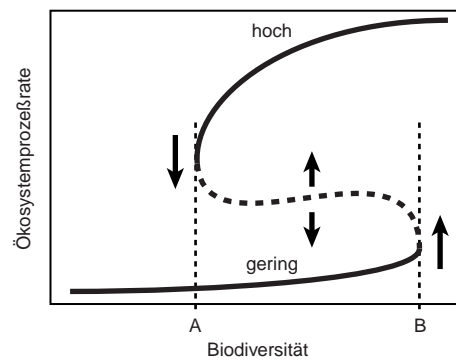


Abbildung D 4.2-4
 Hypothetische Beziehung zwischen Ökosystemfunktionen (ausgedrückt als Ökosystemprozeßraten) und Biodiversität. Die durchgezogenen Linien stellen alternative stabile Zustände oder Beziehungen dar, zu denen ein Ökosystem nach moderaten Störungen wieder zurückkehrt. Die gestrichelte Linie beschreibt eine „Bruchstelle“ (instabiler Zustand). Wird ein Ökosystem über diesen Zustand hinaus weiter gestört, wird es in einen anderen, stabilen Zustand übergehen. Die Punkte A und B stellen Schwellenwerte dar. Sinkt die Biodiversität unter den Wert von A, fällt das betreffende Ökosystem vom Zustand mit hohen Ökosystemprozeßraten in einen Zustand mit geringen Raten. Um den früheren Zustand wieder herzustellen, muß die Biodiversität den Schwellenwert B erreichen.
 Quelle: Heywood und Watson, 1995

lungen, die v. a. in der Tierwelt weit verbreitet sind (z. B. Lemminge, Borkenkäfer), stellen eine extreme Ausprägung dynamischer Gleichgewichte dar. Sie werden meist ausgelöst, wenn die Wetterbedingungen und das Nahrungsangebot die Vermehrung stark fördern. Darüber hinaus werden sie durch die Interaktion mit einem oder mehreren Gegenspielern gesteuert (Räuber-Beute- bzw. Parasit-Wirts-Beziehungen).

Eine besondere Form der Räuber-Beute-Beziehung ergibt sich beim Fischfang in den Ozeanen (Vitousek et al., 1997). Ausgehend von einer Phase I der natürlichen Fischdichte wird ein Fischgebiet zunächst entwickelt, indem mögliche andere Gegenspieler dezimiert werden. Die Erträge der wirtschaftlich genutzten Fischart steigen (Phase II). Dies führt über eine mehr oder weniger lange Zeit zu einer hohen Fangrate (Phase III), die aber abrupt, über sehr kurze Zeit zusammenbricht (Phase IV). Ein Grund für den Zusammenbruch ist, daß in der späten Phase III immer mehr Jungfische gefangen werden und damit die Reproduktion verhindert wird. Somit kommt es im Wechsel zu Massenvermehrungen und starken Populationszusammenbrüchen. Derzeit sind etwa 60% der Ozeane im Fischbestand gefährdet.

In der Land- und Forstwirtschaft sind die wirtschaftlichen Schäden durch Massenvermehrung von Schädlingspopulationen und ständige Konkurrenz

Frucht	Produktion [Mio. t]		
	Maximal	Aktuell	Ohne Pflanzenschutzmaßnahmen
Mais	729	449	295
Reis	1.047	509	184
Weizen	831	548	400
Kartoffel	464	273	123
Cassava	623	157	21
Erdnuß	87	23	5
Hirse	184	58	9

Tabelle D 4.2-1
Die maximal erreichbare weltweite Produktion an Getreide und anderen Feldfrüchten im Vergleich zur aktuellen und zur geschätzten Ernte, wenn keine Pflanzenschutzmaßnahmen durchgeführt werden würden.
Quelle: Gregory et al., 1998

durch Unkräuter durchaus abschätzbar. Es zeigt sich, daß trotz aller bisheriger Bekämpfungsmaßnahmen die aktuellen Erträge um etwa 45% unter den potentiell erreichbaren Erträgen liegen (Tab. D 4.2-1). Der Ertragsverlust erfolgt gleichermaßen durch tierische Schädlinge (15%), Pflanzenkrankheiten (14%) und durch Unkräuter (13%) (Tab. D 4.2-2). Ohne jegliche Schädlingsbekämpfung wären die Erträge um weitere 25% geringer. Die bisherige Schädlingsbekämpfung kann also bei weitem nicht die potentiellen Erträge sichern. Dennoch ist eine zukünftige Steigerung der Ernteerträge sehr schwierig, da die oben genannten „Gegenspieler“ auf jeweils niedrigem Niveau bereits die Erträge senken, aber unterschiedlicher Ansätze zur Bekämpfung bedürfen. Trotzdem erscheint in vielen nicht oder wenig industrialisierten Ländern die Intensivierung der Landwirtschaft auf den bestehenden Flächen aussichtsreicher und ökologisch sinnvoller zu sein als eine Ausweitung auf marginale Böden (Gregory et al., 1998; zum Sahel-Syndrom s. WBGU, 1994, 1996b).

Am Beispiel der Kulturpflanzen zeigt sich deutlich:

- Das Risiko eines Ertragsverlusts in der Land- und Forstwirtschaft durch Schadorganismen ist v. a. bei intensiver Wirtschaft in Monokulturen sehr hoch.
- Die Wahrscheinlichkeit des Eintritts von derartigen Schäden ist, auch weltweit betrachtet, sehr

groß.

- Die Schäden sind weltweit regelmäßig von hohem Ausmaß.

Die Kriterien Persistenz und Ubiquität der Massenentwicklungen heimischer Schädlinge sind im Vergleich zu den weiter unten beschriebenen Risiken der Massenentwicklungen nichtheimischer Arten eher gering. Nachhaltige land- und forstwirtschaftliche Anbaumethoden (z. B. Fruchtwechsel, Mischkulturen) und Risikomanagement (z. B. agrarmeteorologische Vorhersagen, Integrierter Pflanzenschutz, Nahrungs- und Saatgutdepots) können die Risiken reduzieren.

Das politische Mobilisierungspotential der Öffentlichkeit im Hinblick auf Massenentwicklungen ist in Europa allgemein eher gering (z. B. Kartoffelkäferkalamitäten), teilweise aber auch hoch (z. B. Algenblüten, Kap. D 4.2.1.3). In Ländern mit weitaus größeren Schäden durch Massenentwicklungen (z. B. Heuschreckenplagen in vielen Ländern Afrikas) und geringem Risikomanagement ist auch in der Öffentlichkeit das Problembewußtsein größer.

Tabelle D 4.2-2

Weltweite aktuelle Ernteverluste durch tierische Schädlinge, Pflanzenkrankheiten und Unkräuter im Vergleich zu Ernteverlusten, die eintreten, wenn keine Pflanzenschutzmaßnahmen durchgeführt werden würden.
Quelle: Gregory et al., 1998

Frucht	Aktuelle Ernteverluste [%]			Absehbare Ernteverluste ohne Pflanzenschutz [%]		
	Tierische Schädlinge	Krankheiten	Unkräuter	Tierische Schädlinge	Krankheiten	Unkräuter
Mais	15	11	13	19	12	29
Reis	21	15	16	29	20	34
Weizen	9	12	12	11	17	24
Kartoffel	16	16	9	26	24	23
Cassava	13	12	10	50	50	70
Erdnuß	13	12	10	30	50	75
Hirse	13	12	10	30	50	80

4.2.1.3 Algenblüten

Im aquatischen Bereich treten Massenvermehrungen hauptsächlich bei planktischen Mikroalgen auf (Algenblüten). Zunehmend werden aber auch Massenvermehrungen von bodenlebenden Makroalgen beobachtet. Algenblüten sind seit vielen hundert Jahren bekannt und stellen eine natürliche Ausprägung biotischer Variabilität in Ökosystemen dar. Es besteht jedoch kaum ein Zweifel, daß toxische Algenblüten und solche mit ernststen ökologischen Schäden in den letzten Jahrzehnten weltweit vermehrt auftreten, und zwar sowohl in Süßwasserökosystemen als auch in Küstengewässern und Randmeeren (Smayda, 1990; Anderson, 1995). Zahlreiche Algenblüten werden durch bisher nicht heimische Arten verursacht (Bederman, 1990).

Von den geschätzten 4.000–5.000 Planktonarten sind etwa 300 Arten bekannt, die zu Massenvermehrungen befähigt sind. Nur etwa 60–80 Arten, also rund 2% der blütenbildenden Algen, werden als schädlich angesehen, etwa weil sie Toxine bilden oder nach ihrem Absterben zu Sauerstoffmangel und Fischsterben führen (Smayda, 1997). Unter den schädlichen Algen dominieren bewegliche Arten (Flagellaten) mit 90%. Blaualgen stellen die Mehrzahl der übrigen Arten. Je nach Art, Wirkung und erreichter Biomasse der Algen treten verschiedene Schadensbilder auf (Tab. D 4.2-3).

In vielen Fällen sind Eutrophierung und Veränderung der Nährstoffzusammensetzung an der Entwicklung schädlicher Algenblüten beteiligt (Paerl, 1997; Burkholder und Glasgow, 1997). So ist beispielsweise im Einzugsgebiet des Tolo Habor, Hongkong, die Zunahme der Nährstoffeinträge aus anthropogenen Quellen zwischen 1976 und 1986 mit der Zunahme von red tides (Wasserfärbung durch Algenblüten) eng korreliert (Lam und Ho, 1989). In Japan zeigten Langzeituntersuchungen einen stetigen Anstieg der red tides von 44 im Jahr 1965 auf über 300 im Jahr 1975 (Murakawa, 1987). Nach Reduzierung der Nährstoffeinträge sank die Zahl der Red-tide-Ereignisse bis heute wieder auf die Hälfte.

Gefahr für Menschenleben konnte vielerorts durch kostenintensive Lebensmittelüberwachung abgewendet werden. Die größten ökonomischen Schäden durch Algenblüten treten bei Aquakulturen, in der Küstenfischerei und bei der Trinkwassergewinnung auf. In Muschelkulturen auf Seto Island, Japan, wurde der Verlust über eine 18jährige Periode auf über 100 Mio. US-\$ geschätzt (Smayda, 1997). In der Bucht des Bundesstaats New York betragen die Verluste in der Kammuschelfischerei jährlich etwa 2 Mio. US-\$ (Kahn und Rockel, 1988). Experten des ECOHAB-Programms (Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms) in den Vereinigten Staaten beschreiben den ökonomischen Effekt als „signifikant, aber schwer in der Gesamtheit zu beziffern“. Die finanziellen Folgen einzelner Algenblüten ermöglichen zwar die Ermittlung der Größenordnung

Tabelle D 4.2-3
Beispiele schädlicher Algenblüten.
Quelle: erweitert und verändert nach Horner et al., 1997

Algen	Wirkstoffe oder Wirkung	Schaden
Algen verschiedener Gruppen, z. B. <i>Noctiluca</i> (verursacht das „Meeresleuchten“), <i>Chrysochromulina</i> -Blüte in Europa 1988	Sauerstoffmangel, gestörte Nahrungsnetze, Giftstoffe	Wasserfärbung (red tides), Fischsterben, Absterben wirbelloser Tiere, Destabilisierung des Ökosystems
Kieselalge der Gattung <i>Chaetoceros</i>	Mechanische Beeinträchtigung der Kiemen usw.	Fischsterben, Ausbleiben von Muscheljahrgängen
Dinoflagellat <i>Gambierdiscus toxicus</i>	Ciguatoxin	Ciguatera: Fischvergiftung besonders durch Verzehr von Raubfischen
Kieselalgen der Gattung <i>Pseudo-Nitzschia</i>	Domoinsäure	ASP (amnesic shellfish poisoning) bei Menschen durch den Verzehr von Muscheln, ebenfalls bei fischfressenden Seevögeln
Dinoflagellat <i>Pfiesteria piscida</i>	Weitgehend unbekannt	Läsion an Fischen, in der Folge Fischsterben; Neurotoxizität bei exponierten Menschen
Blaualgen, z. B. <i>Anabaena</i>	Hepatotoxine u. a.	Leberschäden und Tod bei Mensch und Vieh

der Gesamtschäden, nationale oder gar globale Abschätzungen der Gesamtkosten liegen jedoch nicht vor.

4.2.1.4

Invasion nichtheimischer Arten

Die Invasion nichtheimischer Arten bezeichnet im folgenden die beabsichtigte oder unbeabsichtigte anthropogene Einführung, Etablierung und Arealausdehnung von Arten außerhalb ihres ursprünglichen Territoriums. Sie hat weltweit die Landbiota und Teile der Küstengewässer verändert und zählt nach Landnutzungsänderungen und Übernutzung von Populationen zu den wichtigsten Ursachen für den Verlust biologischer Vielfalt (Heywood und Watson, 1995; Sandlund et al., 1996). Einige der bekanntesten Beispiele folgenschwerer Invasionen sind Wespen und das Possum in Neuseeland, Kaninchen in Australien, mediterrane Unkräuter in Nordamerika und die Übertragung von Algen aus dem Pazifik in das Mittelmeer.

Das Risikopotential der Invasion nichtheimischer Arten ist in den meisten Fällen auch mit einer Massenentwicklung dieser Arten verbunden. Sie unterscheidet sich von zyklischen Massenentwicklungen heimischer Arten jedoch durch 2, für eine Risikobewertung wichtige Eigenschaften:

1. Die Invasion nichtheimischer Arten ist in ihrem heutigen, wesentlich durch den Menschen verursachten Ausmaß neuartig und mit weitaus größeren Unsicherheiten behaftet als die natürliche Arealausdehnung von Arten.
2. Die nichtheimischen Arten unterliegen häufig keiner effektiven Kontrolle durch Gegenspieler (Konkurrenz, Parasiten, Räuber, Krankheitserreger), so daß Schadensausmaß und Persistenz weitaus höher sein können als bei Massenentwicklungen heimischer Arten. Eine wirkungsvolle Bekämpfung ist, wenn überhaupt, häufig nur durch eine biologische Schädlingsbekämpfung möglich (z. B. *Opuntia* in Australien mit *Cactoblastus*, Disteln in Kanada mit *Rhiniozylus conicus*; Kasten D 4.2-2).

Die Verbreitung nichtheimischer Arten

Die Verbreitung nichtheimischer Arten hat erst durch den Menschen ein Ausmaß angenommen, welches zu einer erheblichen Gefährdung heimischer Lebensgemeinschaften und Ökosysteme führt. Die anthropogene Ausbreitung der Arten kann dabei über verschiedene Wege erfolgen:

- Unbeabsichtigte Einführung von Arten durch Handel (Wolle, Holz, Getreide), Verschleppung durch Fahrzeuge, Importe von Haustieren und Fi-

schen für Aquakulturen usw. Die Ausbreitung exotischer aquatischer Organismen erfolgt im marinen Bereich v. a. über das Ballastwasser von Schiffen und den Bewuchs des Schiffsrumpfs. Durch den intensiven Luftverkehr wird die weltweite Ausbreitung insbesondere von Krankheitserregern ein zunehmendes Problem.

- Arten werden für einen bestimmten Zweck eingeführt und entkommen dann ins Freiland, etwa durch Ausbrechen aus botanischen oder zoologischen Gärten (z. B. Reblaus, Waschbären, Alge *Caulerpa*), Aquakulturen oder wissenschaftlichen Institutionen (z. B. *Varroa*-Milbe).
- Arten werden beabsichtigt ins Freiland entlassen. Hierzu zählen v. a. landwirtschaftliche Kulturpflanzen, forstlich genutzte Baumarten und Weidetiere.

Heute wird weltweit der Hauptanteil der menschlichen Ernährung durch eingeführte Nutzarten mit ursprünglich stark eingeschränkter Verbreitung bestritten (z. B. Mais, Kartoffel, Reis; Hoyt, 1992). In keiner Region haben sich diese Pflanzen aber verselbständigt und sind in die natürliche Vegetation eingedrungen. Nur die Unkräuter, die mit eingeschleppt wurden, haben sich in anderen Vegetationen mit teilweise erheblichen negativen Auswirkungen eingebürgert (Mooney und Drake, 1986). Anders ist die Situation bei der weltweiten Verbreitung von Weidetieren (Rind, Schaf, Ziege, Pferd, Kamel), die nicht nur erhebliche Schäden in der natürlichen Vegetation verursachten (Pferd in Nordamerika, Rind in Australien, Ziegen auf ozeanischen Inseln), sondern gleichzeitig die Ansiedlung von europäischen Weidpflanzen nach sich zogen (z. B. *Festuca pratensis*, *Trifolium subterraneum*, *Bromus* ssp.). In Verbindung mit dem Beweidungsdruck traten die Weidpflanzen in Konkurrenz zur natürlichen Vegetation und verdrängten diese teilweise (z. B. *Bouteloua*-Steppe in Nordamerika). Besondere Konkurrenzstärke zeigten die europäischen mediterranen Unkräuter, die die Vegetation der Trockengebiete der Erde völlig veränderten.

Ökologische Auswirkungen der Invasion nichtheimischer Arten

Die Folgen der Invasion nichtheimischer Arten auf natürliche oder naturnahe Ökosysteme können von Region zu Region sehr unterschiedlich sein. In einigen Regionen beispielsweise kann sie zu einer Bereicherung der natürlichen Flora und Fauna führen (z. B. in Deutschland). In der Regel aber hat sie zur Folge, daß eine große Vielfalt an endemischen Arten, und mit ihnen wertvolle genetische Ressourcen, durch einige wenige weltweit verbreitete Arten verdrängt wird.

Die ökologischen Folgen nichtheimischer Arten sind vielfältig und von zahlreichen Autoren gut dokumentiert worden (z. B. Vitousek, 1986; Drake et al., 1989; D'Antonio und Vitousek, 1992; Sandlund et al., 1996; s. auch Kasten D 4.2-1). Beispiele möglicher primärer Folgen sind:

- Gesundheitsschäden für Menschen (z. B. Asiatische Tigermücke als Vektor für Dengue- und Gelbfieber),
- Ernteverluste und -ausfälle (z. B. europäische Stare auf dem amerikanischen Kontinent),
- Veränderung von Stoffkreisläufen (z. B. beeinflusst der Krebs *Mysis relicta* in Seen Montanas das umgebende terrestrische Ökosystem),
- Überformung von Landschaften (z. B. Gummiranke *Cryptostegia grandiflora* aus Madagaskar in Australien),
- Verdrängung oder Vernichtung heimischer Floren- und Faunenelemente (z. B. Blutweiderich *Lythrum salicaria* europäischer Herkunft in den USA),
- Verstopfung von Rohrleitungen und Wasserwegen (z. B. Dreikantmuschel in Nordamerika),
- „Umkippen“ (Verlust der Sauerstoffversorgung) von Seen und Teichen (z. B. Wasserhyazinthe in afrikanischen Feuchtgebieten),
- erhöhtes Feuerrisiko (z. B. Asiatisches Cogongras und Brasilianischer Pfeffer in Florida).

Darüber hinaus treten auch zahlreiche sekundäre Effekte auf:

- Degradation von Lebensräumen (z. B. afrikanische Gräser auf ehemaligen Regenwaldflächen Brasiliens),
- Verbreitung weiterer exotischer Arten durch eine bereits etablierte (z. B. fördert der Indische Mynahvogel die Verbreitung von Guavensamen auf Hawaii),
- Folgeschäden von Pestiziden, die zur Bekämpfung nichtheimischer Organismen eingesetzt werden (z. B. vergiftete in den USA die Bekämpfung der Ulmenkrankheit mit DDT zahlreiche Singvögel),
- Hybridisierung (Einkreuzung) mit heimischen Organismen (z. B. nordamerikanisches Gras in England).

Schadensausmaß, Ubiquität und Persistenz sind bei der Invasion nichtheimischer Mikroorganismen und bei Tieren im allgemeinen höher anzusetzen als bei nichtheimischen Pflanzen. Mikroorganismen, inklusive Pilze, wurden weltweit meist unbeabsichtigt verbreitet und ihre Etablierung hat teilweise zu sehr großen ökologischen und ökonomischen Schäden geführt. Beispiele hierfür sind die Hungersnot in Irland (1845–1851) durch den Kartoffelpilz *Phytophthora infestans* und das Ulmen- und Kastaniensterben in Mitteleuropa und Nordamerika (Erreger *Ceratocystis ulmi* bzw. *Cryphonectria parasitica*). Die

hohe Mobilität und das höhere Vermehrungspotential der Mikroorganismen spielen hier eine wichtige Rolle. Allgemein ist jedoch festzuhalten, daß eine weltweite Ausrottung von Arten durch die Einbürgerung nichtheimischer Arten bislang „nur“ auf Inseln oder in aquatischen Ökosystemen beobachtet worden ist. Nachweise über ein weltweites Aussterben einer terrestrischen, kontinentalen Art durch nichtheimische Arten liegen bislang nicht vor (Heywood und Watson, 1995). Lokale Gefährdungen, Populationsverluste und damit eine Verringerung der genetischen Vielfalt durch etablierte nichtheimische Arten sind je nach Art, Ökosystem und Umweltbedingungen jedoch ein wahrscheinlicher Schaden.

Die Ausrottung einer sich in heimischen Lebensgemeinschaften fest etablierten nichtheimischen Art ist bei Pflanzen und Tieren nicht oder nur unter hohem Kostenaufwand möglich (Kasten D 4.2-1). Die Regeneration geschädigter Ökosysteme kann Jahrzehnte in Anspruch nehmen. Schäden durch nichtheimische Mikroorganismen sind höchstwahrscheinlich nicht beherrschbar. Verluste endemischer Arten auf Inseln oder in aquatischen Ökosystemen stellen einen irreversiblen Schaden dar.

In der deutschen Bevölkerung sind die Risiken der Invasion nichtheimischer Arten allgemein kein politisch relevantes Thema. Erst bei extrem hohen oder sehr augenfälligen Schäden (z. B. „Ulmensterben“) werden nichtheimische Arten in der Öffentlichkeit als problematisch wahrgenommen. In der internationalen Global Change Forschung kommt diesem Thema jedoch große Aufmerksamkeit zu.

Ökonomische Auswirkungen der Invasion nichtheimischer Arten

Während sich die ökonomischen Schäden als Folge einer Invasion in der Land- und Forstwirtschaft und der Fischerei beispielsweise als Ernteausschlag, Einkommensersatz bei Ernteverlust oder Kosten für Schadensbehebung oder -begrenzung abschätzen lassen, ist die ökonomische Bewertung eines möglichen Verlusts der Biodiversität methodisch allerdings äußerst schwierig (Hampicke, 1991; WBGU, 1993, 1996b).

Es gibt bislang wenige Beispiele, anhand derer eine vollständige ökonomische Analyse der Schäden etablierter nichtheimischer Arten erfolgt ist. Diese Beispiele (Kästen D 4.2-1, D 4.2-2) zeigen jedoch, daß die Schäden und Kosten für eine Bekämpfung erhebliche und unvorhersehbare Ausmaße haben können. Es stellt sich die Frage, zu welchem Zeitpunkt eine Bekämpfung ökonomisch am sinnvollsten ist. In vielen Fällen scheint die Prävention die effektivste Maßnahme zu sein (z. B. Austausch von Ballastwasser auf hoher See, kontrollierte Holzimporte). Bekämpfungsmaßnahmen, die erst eingelei-

Kasten D 4.2-1

Fallbeispiel: Die Goldene Apfelschnecke in Asien

Situation

Die Goldene Apfelschnecke stammt ursprünglich aus den Sumpfreionen des Paraná in Paraguay. Sie wurde 1982 offiziell im Rahmen eines Regierungsprogramms auf den Philippinen als Nahrungsmittel und zur Einkommensstärkung in ländlichen Regionen eingeführt. In den späten 80er Jahren wurde sie auch in China, Südkorea, Malaysia, Taiwan, Thailand, Indonesien, Vietnam und den pazifischen Inselstaaten eingeführt. Die Erwartung, daß die Schnecke als Eiweißquelle für den Eigenbedarf und als Exportgut für Asien und Europa geeignet wäre, zerstreute sich rasch. Der Marktpreis der Schnecken blieb wegen ihres schlechten Geschmacks gering, und selbst Bauern mit geringen Einkommen lehnten den Verzehr ab. Die Schnecken breiteten sich aber in der Folgezeit in Reisfeldern aus und verursachten erhebliche Ertragseinbußen, da Reisschößlinge bevorzugt gefressen werden.

DIE FOLGEN – DAS BEISPIEL DER PHILIPPINEN

Die Schnecke verursachte 1990–1991 bei mehr als der Hälfte der Bauern von Luzon, Philippinen, einen Ernteausfall

von mehr als 25%; jeder 10. Bauer hatte sogar einen Totalausfall zu beklagen. Die Schnecke hat zudem sekundäre Effekte auf die menschliche Gesundheit, denn sie dient als Zwischenwirt für einen Lungenwurm, der beim Menschen Gehirnhautentzündung hervorruft. Durch Sammelaktionen, Entenhaltung, verbessertes Management der Wasserstände und Schneckengift wird nun versucht, die Plage unter Kontrolle zu bringen. Die eingesetzten Gifte sind aber extrem fischtoxisch und ein weiteres Gesundheitsrisiko für die Bauern.

Was wurde versäumt?

Marktanalysen hätten bereits vor der Einführung zeigen können, daß die Goldene Apfelschnecke weder als Exportschlager noch zur Nahrungsergänzung taugt. Seit Beginn des Reisanbaus in Surinam war die Schnecke dort als Hauptschädling in Reisfeldern bereits bekannt. Ökologische Merkmale hätten sie als potentiellen Invasor verdächtig gemacht, aber es gibt auf den Philippinen keine gesetzlich vorgeschriebene Überprüfung vor der Einführung exotischer Organismen.

Die Verluste von 28–45 Mio. US-\$ entsprechen 25–40% der jährlichen Kosten für Reisimporte auf den Philippinen (Tab. D 4.2-4). Dieser Betrag hätte es gestattet, dort ein funktionsfähiges Quarantäneprogramm für sämtliche landwirtschaftliche Neueinführungen zu entwickeln.

Art der Kosten	Kostenschätzung [Mio. US-\$]
Ernteverlust bei Nachpflanzungen und Bekämpfung	12,5–17,8
Kosten für Nachpflanzungen und Bekämpfung	2,8–10,3
Kontrolle mit Molluskiziden und Sammlung von Hand	12,5–17,2
Gesamtkosten für die Farmer	27,8–45,3
Ernteverlust ohne Bekämpfung und Nachpflanzung	48,0

Tabelle D 4.2-4
Schätzungen des ökonomischen Schadens im philippinischen Reisanbau.
Quelle: Naylor, 1996

tet werden, wenn massive ökologische und ökonomische Schäden auftreten, können sehr langwierig und kostenintensiv werden (z. B. Kaninchen in Australien; Kasten D 4.2-2).

Ökologische Anfälligkeit und Risikomanagement

Mit der Frage nach Erfolg oder Mißerfolg der Einbürgerung nichtheimischer Arten hat sich die angewandte Ökologie seit ihren Anfängen beschäftigt, ohne daß jedoch generalisierbare Vorhersagen möglich geworden wären (Mooney und Drake, 1986; Heywood und Watson, 1995). Bezogen auf den umfangreichen Handel mit Pflanzen- und Tierprodukten und die große Zahl von Organismen, die durch den internationalen Schiffs- und Flugverkehr verbreitet werden, erscheint das Risiko einer erfolgreichen und sich schädlich auswirkenden Etablierung nichtheimischer Arten allgemein gering zu sein. So ist eine erfolgreiche Invasion neben den Eigenschaf-

ten der nichtheimischen Art (wie beispielsweise genetische Variabilität, Vermehrungspotential) maßgeblich von den Eigenschaften der heimischen Flora und Fauna abhängig. Das Risiko der Ausbreitung nichtheimischer Arten in Mitteleuropa beispielsweise ist weitaus geringer als das der Invasion europäischer Arten in anderen Regionen der Welt (Mooney und Drake, 1986; Niemelä und Mattson, 1996). Die an die landwirtschaftliche Kultur angepaßten europäischen Unkräuter waren in allen Teilen der Welt erfolgreicher als die entsprechenden Arten aus anderen Regionen in Europa. Es wurden viel mehr Samen der australischen Flora mit Wolle und Getreide nach Europa gebracht als umgekehrt, aber keine australische Pflanze ist in Europa verwildert. In anderen Regionen jedoch sind australische Arten zu Unkräutern geworden (z. B. *Melaleuca* in USA, *Hakea* und *Acacia* in Südafrika). Nach Kowarik (1996) haben sich in Mitteleuropa nur 0,2% der bislang eingeführten

Kasten D 4.2-2

Die biologische Schädlingsbekämpfung am Beispiel der Kaninchen in Australien

Die Etablierung des europäischen Kaninchens in Australien ist ein klassisches Beispiel für die unvorhersehbaren und kostspieligen Folgen einer Einführung nichtheimischer Arten (Williams, 1998b). Die Kaninchen wurden 1859 zu Jagdzwecken aus England eingeführt und hatten bereits nach 50 Jahren fast den gesamten australischen Kontinent besiedelt. Die Hauptursache für diese schnelle Verbreitung war das Fehlen natürlicher Feinde wie Wiesel und Fuchs, die in Europa die Kaninchenpopulationen regulieren. Die Massentwicklung der Kaninchen führte zu schweren Landdegradationen (z. B. Zerstörung der Vegetationsdecke und Bodenerosion) und zu einer Gefährdung und dem Aussterben heimischer Pflanzen und Tiere.

Bekämpfungsstrategien und ihre Wirkung
Nachdem alle Versuche fehlgeschlagen waren, die Massentwicklung der Kaninchen durch chemische oder mechanische Bekämpfungsmaßnahmen (z. B. Gift, Fallen, Zäune und intensive Bejagung) unter Kontrolle zu bekommen, wurde 1871 mit der Einführung des europäischen Rotfuchses der Versuch einer biologischen Schädlingsbekämpfung unternommen. Es stellte sich bald heraus, daß der Fuchs neben Kaninchen auch heimische Arten erbeutete, die aufgrund ihrer Eigenart (Vorherrschaft der Beuteltiere, die in direkter Konkurrenz meist den Säugetieren unterlegen sind) besonders empfindlich reagierten. Sie erholten sich weitaus langsamer von einer Dezimierung durch den Fuchs als die sehr fruchtbaren Kaninchen. Somit führte der Fuchs zu einer Bedrohung der heimischen Fauna, ohne jedoch die Kaninchen wirksam und langfristig zu kontrollieren.

Bedeutend erfolgreicher war die Bekämpfung der Kaninchen durch den Erreger der Myxomatose, einer Viruskrankheit, die seit 1950 gezielt zur Bekämpfung der Kaninchen eingesetzt wird. Das durch Mücken übertragene Virus breitete sich in feuchteren Regionen stark aus und tötete

hier etwa 90% aller Kaninchen. In trockeneren Jahreszeiten und Landesteilen war die Wirkung jedoch weitaus geringer. Obwohl inzwischen gegen die Myxomatose resistente Kaninchen auftreten, erlaubt das Virus in den gemäßigten Regionen Australiens immer noch eine wirksame biologische Kontrolle.

Eine noch effizientere Kontrolle der Kaninchen wurde durch das sog. Rabbit Calicivirus erreicht, das ein aus Asien, Europa und Mexiko bekanntes hämorrhagisches Fieber auslöst. Trotz umfangreicher Vorsichtsmaßnahmen konnte sich das Virus 1995 unbeabsichtigt von einer Versuchinsel im Süden Australiens ausbreiten. Bereits innerhalb 1 Jahr erreichte der Erreger alle Verbreitungsgebiete der Kaninchen und bewirkte ein Massensterben. Die heimische Flora hat sich seitdem deutlich erholt. Befürchtungen, daß die heimische Fauna von dem Virus geschädigt werden könnte, bestätigten sich nicht. Inzwischen ist ein Präparat mit dem Virus offiziell zugelassen und wird im Rahmen des Rabbit-Calicivirus-Disease-Programms eingesetzt. Um auch in Zukunft die Wirksamkeit der Kontrolle sicherzustellen, setzt man auf die Kombination mit konventionellen Methoden. Zudem wird an der gentechnischen Veränderung des Myxomavirus gearbeitet.

Die Kosten der Einführung des Kaninchens
Die Verluste an biologischer Vielfalt sind ökonomisch nur sehr schwer zu beziffern. Die Kosten für die Landwirtschaft lassen sich, auch wenn keine Daten aus der Zeit vor Einführung der Myxomatose vorliegen, indirekt durch den Nutzen oder die Kosten der Bekämpfungsmaßnahmen abschätzen. So gab die Regierung von Victoria jährlich 3 Mio. australische Dollar (A\$), die südaustralische Regierung 1,1 Mio. A\$ für Kaninchenkontrollprogramme aus. Die Kosten für die südaustralische Viehwirtschaft werden auf jährlich 17 Mio. und für den Ackerbau auf jährlich 6,2 Mio. A\$ geschätzt. Der Nutzen der Myxomatose in der australischen Schafzucht betrug in den Jahren von 1952–1953 30 Mio. A\$, in der Wollindustrie jährlich 115 Mio. A\$. Jüngere Nutzenrechnungen, basierend auf einer 80%igen Reduzierung der Kaninchenzahl, belaufen sich auf jährlich 600 Mio. A\$ in ganz Australien.

nichtheimischen Pflanzenarten erfolgreich etabliert und zu unerwünschten Auswirkungen geführt.

Sehr große ökologische Schäden sind in aquatischen Ökosystemen durch nichtheimische Arten entstanden. Ein Beispiel hierfür ist die unbeabsichtigte Einführung der Rippenqualle *Mnemiopsis* in das Schwarze Meer (Mee, 1992; Zaitsev, 1993; Kideys, 1994). Da der wichtigste Verbreitungsweg aquatischer nichtheimischer Arten das Ballastwasser von Schiffen ist, würden der Austausch des Ballastwassers auf hoher See oder seine Behandlung die Verbreitungsgefahr spürbar verringern, wenn auch nicht völlig beseitigen (Bederman, 1990). Ein Vorstoß für eine derartige internationale Regelung im Rahmen des MARPOL-Abkommens (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) ist bereits von Australien vorgeschlagen worden.

Vergleiche des Anteils nichtheimischer Arten in Relation zur heimischen Flora und Fauna zeigen, daß „Inselvegetationen“ stärker durch nichtheimische

Arten gefährdet sind als kontinentale (Heywood und Watson, 1995) und anthropogen gestörte Ökosysteme stärker als natürliche (Vitousek, 1990; Smallwood, 1994; Kowarik 1995). Da auf Inseln besonders häufig endemische Arten vorkommen, führt hier die hohe ökologische Vulnerabilität zu einem besonders hohen Risiko des Verlusts von Arten und Genressourcen. Die hohe Vulnerabilität gestörter Ökosysteme läßt erwarten, daß durch die Zunahme bzw. Änderung der Landnutzung oder die Veränderung von Stoffeinträgen in Ökosysteme auch die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Etablierung nichtheimischer Arten steigt (Scherer-Lorenzen et al., 1998). Eine Risikoabschätzung wird weiterhin dadurch erschwert, daß zwischen der Einführung einer nichtheimischen Art und ihrer plötzlichen, massiven Ausbreitung, ausgelöst z. B. durch Landnutzungsänderungen oder Klimaveränderungen, Jahrzehnte bis Jahrhunderte liegen können (Bazzaz, 1986; Crooks und Soulé, 1996) (Tab. D 4.2-5).

Tabelle D 4.2-5
Anwendung der Kriterien auf das Risikopotential der Massenentwicklungen nichtheimischer Arten. Es gehört zum Risikotyp Zyklus. Legende s. Kasten D 2.1-1.
Quelle: WBGU

Kriterium	Eigenschaften				
	Gering	Eher gering	Eher hoch	Hoch	Ungewiß
Eintrittswahrscheinlichkeit <i>W</i>					<input checked="" type="checkbox"/>
Abschätzungssicherheit von <i>W</i>					<input checked="" type="checkbox"/>
Schadensausmaß <i>A</i>					<input type="checkbox"/>
Abschätzungssicherheit von <i>A</i>					<input type="checkbox"/>
Ubiquität					<input type="checkbox"/>
Persistenz					<input type="checkbox"/>
Irreversibilität					<input type="checkbox"/>
Verzögerungswirkung					<input type="checkbox"/>
Mobilisierungspotential					<input type="checkbox"/>

Die Ausbreitung bekannter invasiver Arten sollte in Zukunft bevorzugt untersucht, kartiert und überwacht werden. Das systematische Sammeln und internationale Bereitstellen von Informationen können als Grundlage von Frühwarnsystemen und Managementstrategien für andere bislang nicht betroffene, aber möglicherweise bedrohte Länder genutzt werden (z. B. für die Europäische Strandkrabbe; Lafferty und Kuris, 1996; FAO, 1996). Vielversprechende Ansätze, um bisherige Wissenslücken zu schließen, liefern die Aktivitäten der FAO mit der Entwicklung von GPPIS (Global Plant Protection Information System). Die im Aufbau befindliche interaktive Datenbank beschränkt sich allerdings derzeit auf terrestrische Ökosysteme und landwirtschaftliche Nutzpflanzen. Im Rahmen des internationalen Forschungsprogramms DIVERSITAS wird z. Z. ein interdisziplinäres, praxisorientiertes und proaktives Programm zur besseren Kontrolle sich schädlich auswirkender, invasiver Arten aufgebaut (GISP, Global Invasive Species Programme).

Eine präventive Risikoanalyse der Ausbreitung aller potentiellen Neuankömmlinge in allen Gebieten der Erde ist nicht praktikabel. Wenn hingegen die Neueinführung einer Art geplant ist, sollte vorher eine umfangreiche ökologische Risikoanalyse durchgeführt werden. Für die meisten Projekte der klassischen biologischen Schädlingsbekämpfung, die die Neueinführung nichtheimischer Arten als Instrument verwenden, wird daher eine Risikoanalyse verlangt und durchgeführt. Aus den Erfahrungen der biologischen Schädlingsbekämpfung und der theoretischen und praktischen Ökologie wurden inzwischen wertvolle Erkenntnisse für die Suche nach geeigneten Kontrollorganismen gewonnen (Murdoch

et al., 1985; Murdoch und Briggs, 1996). Die FAO erarbeitete in Zusammenarbeit mit Experten einen code of conduct für den Import und die Freisetzung exotischer Organismen (FAO, 1996), der als Leitfaden die jeweiligen Aufgaben von Regierungsorganisationen, Exporteuren und Importeuren nennt und zur Risikominimierung beitragen soll.

Auch für die Freisetzung von Organismen, die nicht zur biologischen Kontrolle, sondern für Nahrungsproduktion, Hobby- und Sportzwecke (Aquarianer, Sportfischer, Jäger, Gärtner) und andere Anwendungen (z. B. Wind- und Erosionsschutz) eingeführt werden, sind internationale Regelungen wünschenswert, die die unkontrollierte Einführung einschränken (z. B. Entwicklung sog. white lists).

4.2.2 Risikopotentiale bei der Freisetzung und dem Inverkehrbringen transgener Pflanzen

Eine umfassende Risikobewertung des gesamten Komplexes Gentechnologie wird sowohl in der Wissenschaft als auch in der Politik kontrovers diskutiert und würde den Rahmen dieses Gutachtens sprengen. Eine derartige Risikobewertung ist nicht Ziel dieses Kapitels. Es sollen hier die Freisetzung und das Inverkehrbringen transgener Pflanzen lediglich im Hinblick auf eine *Typisierung* globaler und umweltrelevanter Risiken betrachtet werden. Da sich dieses Gutachten auf umweltrelevante Risiken konzentriert, werden beispielhaft nur die Nutzung der Gentechnik im Pflanzenbau (angewandte „Grüne Gentechnik“) und ihre potentiellen Wirkungen auf natürliche oder naturnahe Ökosysteme behandelt. Der

Einsatz gentechnisch veränderter Mikroorganismen (z. B. zur Biofertilisation, für medizinische Zwecke, zur Produktion von Lebensmitteln oder in der Altlastensanierung) wird nur am Rand berücksichtigt (Kap. D 2). Die Risiken der technischen Klonierung von Tieren schließlich sind weniger in der Technik oder der Klonierung an sich zu finden, als vielmehr in ihrer Anwendung sowie in ihrer ethischen und gesellschaftlichen Dimension. Sie werden daher hier nicht behandelt.

Der Stand der auf nationaler Ebene geführten Diskussion ist in einer Reihe von Veröffentlichungen und Expertisen über die Chancen und Risiken der Gentechnik niedergelegt und soll an dieser Stelle nicht wiederholt werden (z. B. van den Daele et al., 1996, 1997; Schulte und Käppeli, 1996, 1997; BMBF, 1997; Rat für Forschung, Technologie und Innovation, 1997). Neben den in diesem Kapitel betrachteten möglichen Risiken für die Umwelt sollten auch die Chancen bzw. die Risiken, die sich ergeben würden, wenn gentechnische Methoden nicht im Pflanzenbau genutzt würden, berücksichtigt werden.

Dem Auftrag des Übereinkommens über die Biologische Vielfalt („Biodiversitätskonvention“; Artikel 19, Absatz 3), die Notwendigkeit und die Modalitäten eines Biosafety-Protokolls zu prüfen, wird mittlerweile in einem eigenen Verhandlungsprozeß nachgekommen, der im nächsten Jahr einen unterschriftsreifen Entwurf für ein völkerrechtlich verbindliches Protokoll liefern soll (Kasten F 6.3-2). Daraus wird deutlich, daß die Feststellung möglicher Risikopotentiale, welche mit manchen Anwendungen der Gentechnologie verbunden sein können, auch international große Beachtung findet (Heywood und Watson, 1995; Macilwain, 1998).

Im folgenden werden zunächst die gentechnischen Methoden und einige biologische Wechselwirkungen diskutiert, die für eine Risikoklassifizierung von Bedeutung sind. Die anschließende Diskussion von Beispielen transgener Eigenschaften zeigt, daß einige der Risiken der angewandten „Grünen Gentechnik“ nicht gentechnikspezifisch sind und bereits aus Erfahrungen des modernen Pflanzenbaus (z. B. Hochleistungssorten, Schädlingsbekämpfung und Resistenzbildung) oder der Mikrobiologie ableitbar sind. Sie können vergleichsweise gut abgeschätzt werden. Dennoch bleiben auch Risiken, deren Abschätzung derzeit noch unsicher ist.

Die globale Relevanz möglicher Risikopotentiale der Freisetzung und des Inverkehrbringens bestimmter transgener Pflanzen ergibt sich durch den weltweit zunehmenden, großflächigen Anbau transgener Pflanzen sowie die diffuse Verbreitung der Produkte transgener Pflanzen in verschiedensten Nahrungsmitteln und Konsumgütern (z. B. Soja). Hinzu kommt, daß bei einer vergleichsweise überschauba-

ren Methodik an sehr vielen Orten der Erde und u. a. rechtlichen Rahmenbedingungen (z. B. Laborsicherheit, Zulassungsvoraussetzungen) als in Europa oder Nordamerika gentechnisch gearbeitet wird.

4.2.2.1

Von der einfachen Zuchtwahl zur Gentechnik

Veränderungen von Genen (Mutationen) und der Austausch von Genmaterial treten in der Natur ständig auf, sie sind der Ansatzpunkt für Selektion und Evolution. Der Mensch hat seit der Steinzeit bestimmte Arten durch Selektion gefördert und verändert. Heute beruht die Ernährung der Menschheit auf wenigen Arten (wie z. B. Mais, Reis und Weizen), die der Mensch zu Beginn des Ackerbaus durch Kreuzungen neu gezüchtet hat. Die moderne Kulturpflanzenzüchtung erhöht die Mutationsrate künstlich (Mutagene), um spezielle Produkte schneller zu erhalten. Dabei wird in Kauf genommen, daß auch unbeabsichtigte Mutationen auftreten, die bei der anschließenden Selektion wieder eliminiert werden müssen. Die Schritte von der klassischen über die moderne Pflanzenzüchtung bis hin zur gezielten Veränderung des Genoms sind in dieser Abfolge gleitend. So können beispielsweise mit Hilfe der Gentechnik bestehende Eigenschaften von Pflanzen verstärkt oder abgeschwächt werden. Der wesentliche Unterschied gentechnischer Methoden im Vergleich zur klassischen Pflanzenzüchtung liegt in ihrem großen Potential zur Gestaltung und Veränderung von Genen und Merkmalskombinationen, das es weder in der klassischen Züchtung noch im Lauf der natürlichen Evolution in dieser Form und Geschwindigkeit bislang gegeben hat:

- Die klassische Züchtung erzeugt ungezielt Veränderungen des vorhandenen Genoms der Pflanzen. Die Gentechnik hingegen erlaubt einen gezielten Austausch von Genen zwischen Organismen der verschiedenen Organismenreiche (Mikroorganismen, Tiere und Pflanzen). Auch zwischen Organismen, die in völlig unterschiedlichen Habitaten leben, können Gene ausgetauscht werden. Es sind Neukombinationen von Genen möglich, die sich aufgrund evolutionärer Kreuzungsbarrieren zwischen den Organismenreichen natürlicherweise nicht vollziehen würden.
- Die Fremdgene können mit artfremden Promotoren (DNA-Abschnitte, die bestimmen, wo die Transkription, also die Bildung der komplementären RNA, beginnt) und mit Enhancer-Sequenzen (regulatorische Basensequenzen, die die Transkription von Genen verstärken) ausgestattet sein, um die natürlichen Restriktionen in den Zielorganismen zu überwinden. Zwar kann es durch

Gentransfer auch natürlicherweise zu einer Neukombination von Genen zwischen den Organismenreichen kommen (Pühler, 1998b), aber die Geschwindigkeit und Häufigkeit dieses Prozesses sowie die Wahrscheinlichkeit, daß Strukturgene, Promotor und Enhancer-Sequenzen gleichzeitig übertragen und erfolgreich exprimiert werden, sind unter natürlichen Bedingungen extrem gering. Der Einsatz arteigener, gewebespezifischer oder induzierbarer Promotoren ist hier ein wichtiger Schritt zur Reduzierung möglicher Risikopotentiale.

Zudem werden zur Identifizierung eines erfolgreichen Gentransfers Selektionsmarker (Markergene) eingesetzt, die je nach Art der vermittelten Eigenschaft (z. B. Antibiotikaresistenzgene), zu Risiken führen könnten. Eine Übertragung dieser Marker von gentechnisch veränderten Pflanzen auf Mikroorganismen (horizontaler Gentransfer) wird jedoch zunehmend als sehr gering erachtet (Schlüter et al., 1995; Gebhard und Smalla, 1998; Heidenreich, 1998) (Kap. D 4.2.2.4). Eine Entfernung möglicherweise riskanter Marker vor dem Inverkehrbringen der transgenen Pflanzen oder die Anwendung unproblematischer Marker würde dieses Risikopotential beseitigen (Kap. D 4.2.2.4).

Neben der Geschwindigkeit ist es v. a. die neuartige Kombination von Genen bzw. Merkmalen, die der Gentechnik eine neue Qualität im Vergleich zur klassischen Pflanzenzüchtung verleiht. Über die Stabilität dieser neuartigen Kombinationen und das Verhalten transgener Pflanzen bzw. der Fremdgene in natürlichen oder naturnahen Ökosystemen und unter variablen Umweltbedingungen ist, oftmals aufgrund des unzureichenden Wissens über das biologische Umfeld der transgenen Pflanzen bzw. ihrer Hybriden, bislang wenig bekannt, so daß die Eintrittswahrscheinlichkeit und das Ausmaß möglicher Schäden nicht abschätzbar sind.

Die neuen Gestaltungs- und Veränderungsmöglichkeiten der Gentechnik im Kulturpflanzenbau eröffnen große Chancen und Nutzungspotentiale wie beispielsweise eine Verminderung des Einsatzes von Bioziden und geringere Ertragseinbußen durch Schädlinge (Schulte und Käppeli, 1996, 1997; Rat für Forschung, Technologie und Innovation, 1997; Korell et al., 1997). Im Fall einer unkontrollierten Ausbreitung transgener Pflanzen oder ihrer Fremdgene (Kap. D 4.2.2.2) können aber auch Risiken für natürliche oder naturnahe Ökosysteme nicht ausgeschlossen werden (z. B. Veränderung von Stoff- und Energieflüssen, Verlust von Populations- und möglicherweise auch Artenvielfalt; Heywood und Watson, 1995; SRU, 1998).

4.2.2.2

Risiken der unbeabsichtigten Ausbreitung der inserierten Fremdgene transgener Pflanzen

Da die Ausbreitung der eingebrachten Fremdgene in natürlichen oder naturnahen Ökosystemen wegen des unzureichend bekannten biologischen Umfelds mit einem schwer einschätzbaren Risiko verbunden sein könnte, muß einem möglichen Transfer der Fremdgene auf Wildpopulationen weiterhin besondere Aufmerksamkeit zukommen (Heywood und Watson, 1995; Schulte und Käppeli, 1996; Ahl Goy und Duesing, 1996; BMBF, 1997; Korell et al., 1997; Pennisi, 1998).

Eine unkontrollierte Ausbreitung transgener landwirtschaftlicher Kulturpflanzen (Verwilderung) ist eher unwahrscheinlich, denn es kann davon ausgegangen werden, daß die allein auf den menschlich nutzbaren Ertrag ausgerichteten genetischen Veränderungen zu einem Verlust an „Fitneß“ der Kulturpflanzen geführt haben. Kulturpflanzen sind nur für die Erzeugung bestimmter Produkte selektiert worden, und ohne die Hilfe des Menschen unterliegen sie in der Regel im Konkurrenzkampf mit natürlichen Arten. Dies gilt allerdings nicht in gleicher Weise für Nutzpflanzen, die züchterisch nur wenig verändert wurden (z. B. Holzgewächse) (Regal, 1994; Ammann et al., 1996; SRU, 1998).

Für eine Ausbreitung der eingebrachten Fremdgene über den Pollenflug (Auskreuzung) müssen Kreuzungspartner (sexuell kompatible, verwandte Arten) in benachbarten Ökosystemen vorhanden sein. Da z. B. in Europa keine verwandten Arten von Soja, Baumwolle oder Mais vorkommen, ist das Risiko einer Auskreuzung bei Freisetzung und Inverkehrbringen dieser Arten hier zwar gering, in den Heimatländern der Kultursorten aber hoch. Bei Raps und Zuckerrüben hingegen ist in Europa eine Hybridisierung mit verwandten Wildarten mehrfach nachgewiesen worden (Ammann et al., 1996; Korell et al., 1997). Betrachtet man das Risikopotential eines Gentransfers auf globaler Ebene, so muß insbesondere der Schutz von Genzentren und Ländern, in denen Wildtypen der Kulturpflanzen vorkommen, betont werden, da hier ein größeres Risiko zu erwarten ist (z. B. ist Mittelamerika die Heimat von Mais und Baumwolle und China die Heimat von Soja). Sollte in diesen Gegenden unbeabsichtigt transgenes Saatgut zur Anwendung kommen, welches Eigenschaften trägt, die in der Wildpopulation der Nutzpflanze Selektionsvorteile bringen, so wäre die Wildpopulation durch Hybridisierung und Konkurrenzdruck gefährdet. Der damit möglicherweise verbundene Verlust an Populationsvielfalt kann durch Einschränkung des zukünftig verfügbaren Genpools letztlich sogar Folgen für die Ernährungssicherheit haben.

Bei der Risikodiskussion im Zusammenhang mit der Freisetzung und dem Inverkehrbringen von gentechnisch veränderten Pflanzen spielt weiterhin der horizontale Gentransfer (nicht-sexueller Transfer von Genen zwischen Organismen, die auch nicht verwandten Arten angehören können) eine Rolle. Während der Transfer zwischen Bakterien und von Bakterien auf Pilze und Pflanzen experimentell nachgewiesen ist, konnte umgekehrt der Transfer von Tieren auf Bakterien oder von Pflanzen und Pilzen auf Bakterien noch nicht nachgewiesen werden. Es wird vermutet, daß dies ebenfalls möglich ist (Pühler, 1998b). Ein Transfer der eingebrachten Fremdgene von Pflanzen auf andere Organismengruppen ist aber als ein sehr seltenes oder nur unter sehr speziellen Rahmenbedingungen stattfindendes Ereignis zu bewerten (Pühler, 1998b). Da ein solches Ereignis aber auch nicht ausgeschlossen werden kann, müssen möglicherweise damit verbundene Risiken im Rahmen der Risikoklassifizierung dieses Gutachtens ebenfalls berücksichtigt werden (Kap. D 2.3).

Neben der Wahrscheinlichkeit des Gentransfers an sich muß in jedem Einzelfall geprüft werden, inwieweit eine ungewollte Übertragung für die Wildpopulation und die Umwelt relevant ist. Dies hängt entscheidend davon ab, ob die Fremdgene auch außerhalb des Agrarökosystems einen Konkurrenzvorteil vermitteln (Regal, 1994) oder wichtige Ökosystemfunktionen und -strukturen beeinflussen (z. B. Stoffkreisläufe). Führt das Fremdgen zu Konkurrenznachteilen der transgenen Individuen gegenüber der Wildpopulation, so kann sich das Fremdgen mit einiger Sicherheit nicht außerhalb des anthropogenen Systems etablieren (z. B. Mikroorganismen mit implantiertem Gen zur Insulinherstellung). Fremdgene hingegen, die ihrem Träger Selektionsvorteile innerhalb der Wildpopulation vermitteln (z. B. Krankheitsresistenz, Kälte-, Trockenheits- oder Salztoleranz, transgene Wachstumsfaktoren), werden wahrscheinlich eine Verschiebung des Konkurrenzgleichgewichts innerhalb der Wildpopulation bewirken und die Etablierung der transgenen Pflanzen oder der Fremdgene fördern. Inwieweit sich gentechnisch eingeführte Gene, die in der Natur weder Konkurrenzvorteile noch -nachteile bieten, auf lange Sicht selektionsneutral in Wildpopulationen stabilisieren können, ist ungeklärt. Bislang geht man davon aus, daß diese Gene aufgrund des fehlenden Selektionsdrucks im Lauf der Zeit wieder verlorengehen oder zumindest seltener werden (van den Daele et al., 1996). Dies ist aber keineswegs zwingend, denn die Veränderungen könnten möglicherweise auch im Sinn einer Präadaptation später unter veränderten Umweltbedingungen einen evolutionären Vorteil vermitteln.

Pleiotrope Effekte (Manifestation ein und desselben Gens in mehreren Merkmalen), Positionseffekte (veränderte Expression eines Gens durch die Stellung im Genom) und insertionale Mutagenesen (Veränderung oder Zerstörung eines pflanzeigenen Gens) werden als u. U. problematisch diskutiert (Franck-Oberaspach und Keller, 1996; van den Daele et al., 1996; Lips, 1998). Diese sowohl in der klassischen Pflanzenzüchtung als auch in der Natur auftretenden Effekte (z. B. durch pflanzliche Transposonen, „springende Gene“) können durch die Integration der Fremd-DNA in das Genom des Zielorganismus entstehen und sind oft nicht voraussehbar. Es wird angenommen, daß diese Prozesse Eigenschaften vermitteln, die nicht beabsichtigt waren und in der Natur unerwartete Wirkungen haben könnten (z. B. erhöhte oder verringerte Schädigung durch Herbivore, Veränderung des Blühzeitpunkts). Ob dieses Risiko bei gentechnisch veränderten Pflanzen prinzipiell höher ist als bei konventionell gezüchteten Pflanzen, ist ungeklärt. Beispielsweise werden bei der klassischen Pflanzenzüchtung hunderte von unbekanntem Genen ausgetauscht, so daß hier die Wahrscheinlichkeit solcher Sekundäreffekte des Genaustausches größer sein dürfte. Auf der anderen Seite wird argumentiert, daß die Durchmischung von Genen aus allen Teilen der Organismenreiche und allen Regionen der Erde auch hier eine neue Qualität im Gefährdungspotential besitzt.

Die neuartigen Gen- und Merkmalskombinationen, die mit Hilfe der Gentechnik geschaffen werden, führen in Verbindung mit der Möglichkeit eines Gentransfers, einschließlich des Transfers von Promotoren, Enhancern und Markern, und unter Berücksichtigung der zuvor unerreichten Geschwindigkeit der Veränderungen, zu dem Schluß, daß potentielle, bislang nicht abschätzbare Risiken nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden können (Regal, 1994; Heywood und Watson, 1995; SRU, 1998). Mögliche negative Folgen für die Umwelt würden je nach Wirksamkeit der natürlichen oder anthropogenen Ausbreitungsmechanismen und der betreffenden Ökosysteme regional bis global wirksam werden. Im Fall einer sich schädlich auswirkenden Etablierung transgener Pflanzen oder der Ausbreitung der Fremdgene in nicht-agrarischen Ökosystemen würde die Persistenz des Schadens wahrscheinlich weit mehr als 30 Jahre betragen können. Würde das Aussterben einer anderen Population oder Art ausgelöst, wären die Persistenz unbegrenzt und der Schaden irreversibel. Erweist sich ein inseriertes Fremdgen hingegen in einer Wildpopulation als instabil, so wird wahrscheinlich kein irreversibler bzw. räumlich und zeitlich begrenzter Schaden eintreten.

Erste Anhaltspunkte für eine mögliche Ausbreitungsdynamik transgener Pflanzen bzw. von deren

Tabelle D 4.2-6

Anwendung der Kriterien auf das Risikopotential der Freisetzung und des Inverkehrbringens bestimmter transgener Pflanzen. Es gehört zum Risikotyp Pythia. Legende s. Kasten D 2.1-1. Quelle: WBGU

Kriterium	Eigenschaften				
	Gering	Eher gering	Eher hoch	Hoch	Ungewiß
Eintrittswahrscheinlichkeit <i>W</i>					<input checked="" type="checkbox"/>
Abschätzungssicherheit von <i>W</i>					<input checked="" type="checkbox"/>
Schadensausmaß <i>A</i>					<input checked="" type="checkbox"/>
Abschätzungssicherheit von <i>A</i>					<input checked="" type="checkbox"/>
Ubiquität					<input checked="" type="checkbox"/>
Persistenz					<input type="checkbox"/>
Irreversibilität					<input type="checkbox"/>
Verzögerungswirkung					<input type="checkbox"/>
Mobilisierungspotential					<input type="checkbox"/>

Hybriden und für mögliche Folgen ihrer Etablierung in natürlichen oder naturnahen Ökosystemen lassen sich aus Forschungsergebnissen zur Invasion nicht-heimischer Arten ableiten (z. B. Regal, 1986; Kowarik, 1996; Kap. D 4.2.1.4). Für die Risikotypisierung ist die Beobachtung wichtig, daß zwischen der Einführung einer nichtheimischen Pflanze und ihrer plötzlichen, massiven Ausbreitung (ähnlich wie bei der evolutionären Wirksamkeit einer präadaptiven Mutation) viele Jahrzehnte liegen können (Kowarik, 1996).

Bei den verschiedenen Risikopotentialen ist jedoch der Übergang zwischen Normal- und Grenzbe- reich fließend (Kap. B). Diese Bandbreite der unterschiedlichen Risikopotentiale der „Grünen Gentechnik“, das noch unzureichende Wissen und die Unsicherheiten hinsichtlich möglicher Wirkungen transgener Pflanzen oder ihrer Fremdgene in den Ökosystemen sind die Ursachen dafür, daß die Kriterien nicht immer eindeutig zugeordnet werden können und eine vergleichsweise große Ungewißheit bei der Abschätzungssicherheit bleibt (Tab. D 4.2-6). Dies gilt insbesondere für Wechselwirkungen mit der Bodenflora und -fauna und für ökosystemare Langzeitwirkungen (Driesel und Danneberg, 1996; UBA, 1996).

4.2.2.3 Derzeitiger Umgang mit den Risiken

In der Praxis bedürfen die Freisetzung und das Inverkehrbringen transgener Organismen einer Fall-zu-Fall-Bewertung, wie sie derzeit auch durch das deutsche Gentechnikgesetz (GenTG) zum Ausdruck

kommt und von verschiedenen Fachgremien befürwortet wird (z. B. Schulte und Käppeli, 1996, 1997; SRU, 1998). Sie findet weltweit in den meisten (aber nicht allen) Ländern Anwendung (Heywood und Watson, 1995; Nöh, 1996). Damit eng verknüpft ist eine schrittweise und kontrollierte Vorgehensweise bei der Freisetzung und dem Inverkehrbringen transgener Organismen. Zunehmend werden aber auch Risikokategorien für transgene Kulturpflanzen diskutiert, die eine Fall-zu-Fall-Bewertung ergänzen könnten (Heywood und Watson, 1995; Ahl Goy und Duesing, 1996; SRU, 1998). Für eine Risikoanalyse werden bislang v. a. folgende Kriterien herangezogen: Art der gentechnischen Modifikation, Biologie der gentechnisch veränderten Organismen, Möglichkeit eines Gentransfers, ökologische Relevanz und mögliche Auswirkungen auf die Umwelt (z. B. Gentechnikverfahrensordnung GenTVfV; Richtlinie der EU 90/220/EWG; Nöh, 1996). Inwieweit die bisherige Sicherheitsforschung den Ansprüchen insbesondere einer ökologisch orientierten Risikoabschätzung und -bewertung genügt, ist umstritten (Kareiva, 1993; Regal, 1994; Heywood und Watson, 1995; Blatter und Wolfe, 1996). Innerhalb der Scientific and Technological Options Assessment Unit (STOA) des Europäischen Parlaments beispielsweise wird nach Wegen gesucht, die nur begrenzte ökologische Aussagefähigkeit von Freisetzungsversuchen gemäß dem Step-by-step-Ansatz zu verbessern (von Schomberg, 1998). Zudem sollte die Nutzung transgener Pflanzen auch über eine Zulassung für den kommerziellen Anbau hinaus einer langfristigen, ökologischen Begleit- und Sicherheitsforschung und einer Dauerbeobachtung (Nachgenehmigungsmonitoring) unterliegen (UBA, 1996; SRU, 1998; Kap. H). Die Förde-

rung eines umfassenden Langzeitmonitoring ist insbesondere mit Blick auf den zu erwartenden großflächigen Anbau transgener Kulturpflanzen zu unterstützen. Forschungen hierzu werden bereits vom BMBF gefördert (Förderrichtlinien „BioMonitor“; BMBF, 1997).

Studien im Auftrag des Umweltbundesamts zeigen, daß in vielen Entwicklungsländern und Staaten Osteuropas gesetzliche Regelungen und Leitlinien zur biologischen Sicherheit fehlen oder erst in Vorbereitung sind (de Kathen, 1996; Sojref und Thamm, 1997). Um die Entwicklung nationaler Regelungen und damit einen sicheren Umgang mit der Biotechnologie in Entwicklungsländern zu fördern, wurden 1995 unter dem Dach der UNEP internationale technische Leitlinien zur Sicherheit in der Biotechnologie verabschiedet. Auch auf EU-Ebene, im Rahmen der OECD sowie der Biodiversitätskonvention wird an einer internationalen Harmonisierung der Bewertung und gesetzlichen Regelungen der Biotechnologie gearbeitet (zum Biosafety-Protokoll s. Kap. D 4.3.2 und Kasten F 6.3-2).

Betrachtet man die zahlreichen populärwissenschaftlichen Veröffentlichungen zur Gentechnologie, so scheint das Mobilisierungspotential bei möglichen umweltrelevanten Risiken der „Grünen Gentechnik“ in der deutschen Öffentlichkeit geringer zu sein als beispielsweise bei potentiellen Risiken für die Gesundheit des Menschen. Bei der „Grünen Gentechnik“ werden v. a. die Chancen und Risiken für die Landwirtschaft und die Welternährung diskutiert.

4.2.2.4

Beispiele einiger Risikopotentiale der „Grünen Gentechnik“

Im Zusammenhang mit der Freisetzung und dem Inverkehrbringen transgener Pflanzen wird eine Reihe von Risiken diskutiert, die oft nicht gentechnikspezifisch und bereits mit derzeitigem Wissen abschätzbar und reduzierbar sind. Die folgenden Beispiele sollen den fließenden Übergang zwischen diesen bekannten oder ableitbaren Risiken und dem oben beschriebenen neuartigen Risikopotential der Anwendung der Gentechnik verdeutlichen.

Beispiel: Selektionsmarker

Neben Risiken, die möglicherweise von den für die landwirtschaftliche Anwendung erwünschten transgenen Eigenschaften ausgehen könnten, kann sich ein Risiko durch sog. Markergene ergeben, die v. a. die erfolgreiche Übertragung von Genen in den Zielorganismus erkennbar machen sollen. Als Marker fanden vielfach Antibiotikaresistenzgene Verwen-

dung, da sie einfach und sicher zu testen sind. Die Ausbringung transgener Pflanzen könnte, wenn auch mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit, zu einer unbeabsichtigten Verbreitung der Marker durch Gentransfer führen und im Fall einer Markierung mit humanmedizinisch relevanten Antibiotikaresistenzgenen auch für den Menschen bedeutsam sein (Kap. D 3). Der experimentelle Nachweis eines Transfers von Antibiotikaresistenzgenen zwischen transgenen Pflanzen und Mikroorganismen (horizontaler Gentransfer) ist schwierig, da er unterhalb der derzeitigen Nachweisgrenze von Laborversuchen liegt (Pühler, 1998b).

Allerdings ist die Wahrscheinlichkeit einer Verbreitung gentechnisch vermittelter Antibiotikaresistenzen in natürlichen oder naturnahen Ökosystemen ohne hohen Selektionsdruck im Vergleich zur Resistenzentwicklung durch die direkte Anwendung von Antibiotika beim Menschen oder bei Tieren sehr gering. Das, wenn auch nur sehr geringe, Risiko der Verbreitung von Antibiotikaresistenzgenen ist ein vermeidbares Risiko, das als Relikt der früheren Forschungsphase durch eine entsprechende Gesetzgebung beseitigt werden könnte. Die Entwicklung muß dahin gehen, daß auf Freisetzungen und Inverkehrbringen transgener Pflanzen mit Antibiotikaresistenzmarkern vollständig verzichtet wird oder zumindest vor der landwirtschaftlichen Nutzung die Antibiotikaresistenzgene aus den transgenen Pflanzen entfernt werden. Diese Forderung findet in Deutschland gemäß dem Vorsorgegrundsatz oder zumindest aus Akzeptanzgründen breite Zustimmung (ZKBS, 1997; SRU, 1998) und ist technisch umsetzbar. Auf globaler Ebene gibt es noch keine einheitliche Meinung zu dieser Forderung.

Beispiel: Einengung der Arten- und Sortenvielfalt bei der

Nahrungsmittelproduktion

Unabhängig von der Art der vermittelten transgenen Eigenschaften besteht aufgrund der wirtschaftlichen Vorteile des Anbaus gentechnisch veränderter Pflanzen, ebenso wie bei den Hochleistungssorten aus der konventionellen Pflanzenzüchtung, die Gefahr umweltrelevanter Sekundäreffekte. So bergen beispielsweise die verstärkte Vermarktung und Nutzung gentechnisch veränderter Nutzpflanzen v. a. in den Entwicklungsländern das Risiko, daß die bereits mit der einseitigen Anwendung der Hochleistungssorten aus der klassischen bzw. modernen Pflanzenzüchtung begonnene Konzentration des Pflanzenanbaus auf wenige Sorten beschleunigt wird. Damit würde eine weitere rasche Einengung der genetischen Vielfalt der Nutzpflanzen erfolgen. Daß dies ein Risiko für die Ernährungssicherheit darstellt und von globaler Relevanz ist, zeigen die bisherigen Erfahrungen mit

der intensiven Landwirtschaft vieler Industrieländer, wo nahezu die gesamte Pflanzenproduktion auf nur einigen wenigen Hochleistungssorten beruht (Mooney, 1985; BML et al., 1997). 1970 z. B. kam es in den USA durch die epidemieartige Ausbreitung der Pilzkrankheit southern corn leaf blight (Erreger: *Bipolaris maydis*) zu signifikanten Ernteverlusten im Maisanbau (Shand, 1997). Über 80% der angebauten Hybridmaissorten (aus der konventionellen Züchtung) waren gegenüber dem bislang unbedeutenden Pilz anfällig. Nur durch intensive Züchtungsprogramme konnte eine weitere Katastrophe im Maisanbau verhindert werden. Auch in der „Grünen Gentechnik“ werden aufgrund von Mutationen und Resistenzbildung bei den Schadorganismen permanente „Neuzüchtungen“ von Kulturpflanzen notwendig sein, die auf das Genreservoir der traditionellen Sorten und ihrer wildlebenden Verwandten angewiesen bleiben werden. Gerade diese traditionellen Sorten könnten durch den Anbau von hochleistungsfähigen, gentechnisch veränderten Sorten, v. a. bei einem Anbau in den Regionen der Genzentren, weiter verdrängt werden (s. hierzu auch das Grüne-Revolution-Syndrom; WBGU, 1998a).

Beispiel: Gentechnisch erzeugte Resistenzen

Bei den über gentechnische Verfahren vermittelten Resistenzen von Pflanzen wird zwischen Resistenzen gegenüber bestimmten Pflanzenschutzmitteln (Herbizidresistenz) und gegenüber Schädlingen wie Insekten (Insektenresistenz) oder Krankheitserregern (z. B. Virus- oder Pilzresistenz) unterschieden. Die gentechnisch erzeugte Schädlingsresistenz wirkt ohne weitere Hilfsmittel gegen die entsprechenden Schädlinge, es handelt sich sozusagen um einen „eingebauten“ Pflanzenschutzfaktor. Die Herbizidresistenz hingegen funktioniert nur in Kombination mit einem sog. Komplementärherbizid, welches zwar die Unkräuter abtötet, nicht aber die transgene, speziell gegen das Komplementärherbizid resistente (oder zumindest tolerante) Nutzpflanze.

Herbizidresistenz

Die Herbizidresistenz von Nutzpflanzen, die den Einsatz hochwirksamer Komplementärherbizide erlaubt, wurde bislang u. a. in Mais-, Zuckerrüben-, Raps-, Baumwolle-, Soja- und Kartoffelsorten gentechnisch verwirklicht (RKI, 1998). Ihr Einsatz im Pflanzenbau soll in Kombination mit den Komplementärherbiziden v. a. eine Entlastung der natürlichen Umwelt durch verringerten Herbizidaufwand bei gleichzeitiger Ertragssicherung bringen. Ob diese Entlastung langfristig aufrechtzuerhalten ist, hängt davon ab, inwieweit in Kombination mit dem herbizidresistenten Saatgut toxikologisch und ökologisch

unbedenkliche Herbizide zum Einsatz kommen und inwieweit der verantwortungsvolle, d. h. restriktive Umgang mit dem Komplementärherbizid (z. B. keine prophylaktische oder routinemäßige Anwendung des Herbizids) zu einer tatsächlichen Reduzierung des Herbizideinsatzes führt. In natürlichen oder naturnahen Ökosystemen ist kein Konkurrenzvorteil durch den Erwerb von Herbizidresistenzgenen zu erwarten, da hier kein Selektionsdruck durch den Einsatz von Herbiziden vorliegt. Im Umfeld des Ackers jedoch könnten Hybridisierung und Selektionsdruck die Entwicklung herbizidresistenter Unkräuter fördern, was die Wirksamkeit des Herbizids mindern würde. Dies betrifft zunächst v. a. die landwirtschaftliche Praxis und die Hersteller der transgenen Pflanzen und Komplementärherbizide. Für die Umwelt entsteht ein Risiko, wenn aufgrund der zunehmenden Resistenz der Unkräuter auch der Herbizideinsatz steigt. Dieser „Teufelskreis“ von Resistenzbildung und vermehrtem Herbizideinsatz ist aber kein spezifisches Problem der Gentechnologie, sondern Folge einer zunehmenden Intensivierung der Landwirtschaft. Eine ausführliche Diskussion der Chancen und Risiken transgener herbizidresistenter Pflanzen im Rahmen eines Verfahrens zur Technikfolgenabschätzung findet sich bei van den Daele et al. (1996, 1997).

Insektenresistenz

Eine der derzeit bedeutsamsten gentechnisch erzeugten Insektenresistenzen wird durch ein oder mehrere Endotoxine des Bodenbakteriums *Bacillus thuringiensis* (B.t.) vermittelt. Hierzu werden Gene, welche für entsprechende Toxine in B.t.-Bakterien kodieren, entweder direkt aus B.t.-Zellen entnommen oder künstlich synthetisiert und dann jeweils in das Pflanzengenom eingeschleust. Die am häufigsten zum Einsatz kommenden B.t.-Toxingene sind gegen Schmetterlinge und einige Blattkäfer wirksam. Bislang wurden B.t.-Gene u. a. in Sorten von Mais, Baumwolle und Kartoffel eingebaut.

Die Risiken der gentechnisch vermittelten Insektenresistenz sind anders zu bewerten als die der Herbizidresistenz. Zum einen produzieren die transgenen Pflanzen selbst das auf Insekten wirkende Gift, zum anderen könnte die Insektenresistenz wahrscheinlich auch in natürlichen oder naturnahen Ökosystemen einen Konkurrenzvorteil vermitteln. Von der natürlichen Insektenresistenz bei vielen Pflanzen und von der Anwendung mikrobieller B.t.-Toxin-Präparate (Spritzpräparate) unterscheidet sich die gentechnisch vermittelte Insektenresistenz v. a. durch die ständige Expression des Gifts in der Pflanze. So sind die natürlichen Abwehrstoffe in Pflanzen häufig entsprechend der am meisten durch Fraß gefährdeten Pflanzenteile verteilt, und ihre Produktion

wird oft erst durch den Insektenfraß selbst induziert oder erhöht. Im Gegensatz dazu produzieren transgene Pflanzen das B.t.-Toxin bislang normalerweise durchgehend während des gesamten Wachstums. Hieraus könnten sich im wesentlichen 3 Risiken ergeben:

1. Eine unbeabsichtigte Verbreitung transgener insektenresistenter Pflanzen oder ihrer Fremdgene in Wildpopulationen könnte zu Veränderungen der Interaktionen zwischen den Pflanzen und den Schadinsekten und damit zu Konkurrenzverschiebungen führen, deren Folgen nur schwer absehbar sind.
2. Das Gift könnte vermehrt auch auf Nichtzielorganismen wirken. Dieses Risiko wurde bislang nur wenig untersucht (Blatter und Wolfe, 1996; Deml, 1998). Es könnte aber beispielsweise durch die Verwendung gewebespezifischer oder induzierbarer Promotoren verringert werden.
3. Es könnte bei den Schadinsekten zu einer erhöhten Resistenzbildung gegen die B.t.-Toxine kommen (Deml, 1998). Dies würde nicht nur die Wirksamkeit der gentechnisch vermittelten Insektenresistenz reduzieren sondern auch eines der umweltverträglichsten biologischen Schädlingsbekämpfungsmittel (konventionelle B.t.-Toxin-Präparate) unwirksam machen. Das Risiko, daß diese Form der Insektenresistenz unwirksam bzw. daß das Resistenzgen ausgekreuzt wird, steigt mit der Zahl der Arten bzw. Sorten, die mit dem entsprechenden Gen ausgestattet sind, und mit der Größe der Anbaufläche transgener insektenresistenter Pflanzen.

Während die ersten beiden Risiken unmittelbar auf die Umwelt einwirken, ist die Resistenzbildung wie bei der Herbizidresistenz zunächst eine Frage wirtschaftlicher Abwägungen der Landwirte und der Hersteller transgener insektenresistenter Pflanzen. Durch den Verlust der Wirkung eines der umweltschonendsten Insektizide, welches möglicherweise durch weniger umweltfreundliche Insektizide ersetzt wird, betrifft dieses Risiko jedoch auch die Umwelt. Es handelt sich hier, wie bereits erwähnt, nicht um ein gentechnikspezifisches Risiko, denn auch bei einer unsachgemäßen Verwendung konventioneller B.t.-Toxin-Präparate wird die Resistenzentwicklung bei den Schädlingen beschleunigt. Allerdings ist die beabsichtigte Anwendungsbreite der transgenen Pflanzen anders einzuschätzen als das Ausmaß eines nicht bestimmungsgemäßen Gebrauchs herkömmlicher mikrobieller Präparate. Um eine erhöhte Resistenzbildung der Schadinsekten gegenüber B.t.-Toxinen der transgenen Pflanzen zu verhindern, wurden insbesondere von der Industrie zahlreiche Strategien eines „Resistenzmanagements“ entwickelt. Als Beispiele seien hier genannt: ausreichende Refugien in

Kombination mit hohen B.t.-Toxin-Konzentrationen, parallele Anwendung unterschiedlicher B.t.-Toxine (Genpyramiden), induzierbare Toxingene, Schulung der Landwirte, Monitoringprogramme zur rechtzeitigen Erkennung von Resistenzen usw. (Übersichten finden sich in McGaughey und Whalon, 1992; Brandt, 1995; Stein und Lotstein, 1995; Stone und Feldman, 1995; Korell et al., 1997). Eine Kombination mehrerer dieser Strategien scheint der derzeit erfolgversprechendste Ansatz zu sein. Darüber hinaus sind weitere Forschungen zur Resistenzentwicklung von Schadinsekten unverzichtbar, da v. a. die Verhältnisse unter Freilandbedingungen noch nicht vollständig verstanden sind (Tiedje et al., 1989; Blatter und Wolfe, 1996).

Virusresistenz

In die gentechnisch erzeugte Virusresistenz von Kulturpflanzen werden große Hoffnungen gesetzt, weil Viren weitaus schwerer zu bekämpfen sind als Unkräuter oder Schadinsekten. Bei der Virusresistenz transgener Pflanzen wird u. a. die Strategie der sog. pathogenvermittelten Resistenz verfolgt, d. h. es werden vom Virus selbst stammende Gensequenzen in die anfällige Sorte integriert. Hierzu zählen beispielsweise die häufig diskutierte Hüllproteingenvermittelte Resistenz und die über Satelliten-RNA vermittelte Resistenz.

Die Risiken dieser gentechnisch erzeugten Virusresistenzen sind von einer deutlich anderen Qualität als die Herbizidresistenz und müssen je nach verwendetem Mechanismus (eingeführte virale Gensequenzen) differenziert bewertet werden (Farinelli und Malnoë, 1996; BfN, 1997; Tepfer und Balázs, 1997b). So könnten im Fall der Hüllproteingen-vermittelten Resistenz über heterologe Enkapsidierung (Einmantelung von Virus-RNA in die Hülle eines anderen Virus bzw. in von der Pflanze gebildete Hüllproteine) oder über Rekombination – Prozesse, die prinzipiell auch bei nicht-transgenen Pflanzen auftreten – Viren mit veränderten Eigenschaften entstehen (z. B. verändertem Wirtsspektrum; Driesel und Danneberg, 1996; Tepfer und Balázs, 1997b). Die Rekombination wird insbesondere dann problematisch, wenn das biologische Umfeld, in das die Virusresistenz eingeführt wird, nicht ausreichend bekannt ist, und so möglicherweise unwissentlich die Resistenzentwicklung der Viren gegenüber der transgenen Virusresistenz gefördert wird. Zudem stellt Virusresistenz in der Natur einen Konkurrenzvorteil dar, so daß es im Fall einer Ausbreitung der Resistenzeigenschaften zu Populations- und Artenverschiebungen in natürlichen oder naturnahen Ökosystemen kommen könnte. Der Wissensstand über Pathogene von Wildpflanzen und damit auch über mögliche ökologische Auswirkungen gentechnisch vermittelter Virusresistenz

ist noch sehr lückenhaft (Driesel und Danneberg, 1996; Tappeser und Wurz, 1996; Bartsch, 1997).

Die Risiken einer unbeabsichtigten Veränderung von Viren bei Anwendung der Hüllproteingen-vermittelten Resistenz werden bislang als unproblematisch eingestuft, bzw. sie seien durch eine Reihe von Vorsorgemaßnahmen reduzierbar (Farinelli und Malnoë, 1996; Driesel und Danneberg, 1996). Aus bisherigen Freilandversuchen mit transgenen virusresistenten Pflanzen wurde keine Entwicklung neuer Viren bekannt. Ein großflächiger Anbau transgener virusresistenter Pflanzen sowie die konstitutive Expression der viralen Gene in der Pflanze über die gesamte Vegetationsperiode könnten diese Bewertung allerdings ändern (Korell et al., 1997). Der Einsatz von Satelliten-RNA-Genen zum Schutz vor Viren ist sehr umstritten. Die Satellitensequenzen sind in hohem Maß instabil und können in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen, der Wirtspflanze und den infizierten Viren (Helferviren) entgegengesetzte Wirkungen haben (Tepfer, 1993; Farinelli und Malnoë, 1996). Das hiermit verbundene finanzielle Risiko macht eine kommerzielle Anwendung der Satelliten-RNA-vermittelten Resistenz derzeit eher unwahrscheinlich (Farinelli und Malnoë, 1996; Tepfer und Balázs, 1997a).

Zur ökologischen Relevanz einer ungewollten Ausbreitung gentechnisch vermittelter Resistenzen ist zusammenfassend festzuhalten, daß bei der Herbizidresistenz in natürlichen oder naturnahen Ökosystemen kein Konkurrenzvorteil zu erwarten ist, da hier kein Selektionsdruck durch den Einsatz von Herbiziden vorliegt. Im Gegensatz dazu ist bei der Virus- oder Insektenresistenz mit einem Selektionsdruck und dadurch auch mit Konkurrenzvorteilen transgener Pflanzen bzw. ihrer Hybriden zu rechnen. Dies ist bei früheren Risikobetrachtungen nicht immer ausreichend berücksichtigt worden (van den Daele et al., 1996, 1997). Zukünftige Entwicklungen wie beispielsweise gentechnisch vermittelte Kälte-, Hitze- oder Salztoleranz könnten eine höhere Relevanz für den Landbau und für die Umwelt aufweisen als bisherige Anwendungen der „Grünen Gentechnik“.

4.3

Zuordnung zu den Risikotypen

4.3.1

Risikopotentiale durch Massenentwicklungen nichtheimischer Arten als Risikotyp Zyklus

Die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens kann bei Pathogenen hoch, bei der Invasion nichtheim-

ischer Pflanzen und Tiere aber sehr unterschiedlich sein. Während die Eintrittswahrscheinlichkeit bei Massenentwicklungen heimischer Schädlinge relativ gut abgeschätzt werden kann, ist die Invasion und Massenentwicklung nichtheimischer Arten v. a. durch ein hohes Maß an Unsicherheit gekennzeichnet, was für eine Einordnung in den Risikotyp Zyklus spricht. Je nach Art, Ökosystem und Umweltbedingungen können Schadensausmaß, Verzögerungswirkungen, Persistenz und Ubiquität eher gering oder auch hoch sein. Im Fall der Etablierung nichtheimischer Arten ergeben sich aufgrund der möglicherweise hohen Verzögerungswirkung Übergänge zum Risikotyp Cassandra.

4.3.2

Risikopotentiale bei der Freisetzung und dem Inverkehrbringen bestimmter transgener Pflanzen als Risikotyp Pythia

Angesichts der Unwissenheit über Eintrittswahrscheinlichkeit und Ausmaß möglicher Auswirkungen auf die Umwelt sind die Risikopotentiale der Freisetzung und des Inverkehrbringens bestimmter transgener Pflanzen dem Pythia-Typ zuzuordnen (Tab. D 4.2-6). Sowohl Eintrittswahrscheinlichkeit, Ausmaß möglicher Schäden, Ubiquität, Persistenz als auch Irreversibilität hängen von der Art der gentechnischen Modifikation und ihrer ökologischen Relevanz, der Biologie der transgenen Organismen, den betreffenden Ökosystemen und dem Umfang ihrer Nutzung (z. B. Weltmarkt und -handel auf dem Gebiet transgener Saatguts, Größe der Anbauflächen) ab. Das Wissen über mögliche (Langzeit-)Wirkungen transgener Pflanzen bzw. ihrer Fremdgene in natürlichen oder naturnahen Ökosystemen ist besonders mit Blick auf einen großflächigen Anbau transgener Pflanzen bislang unzureichend. Im Vergleich zu den Risikopotentialen der Etablierung nichtheimischer Arten kommen hier v. a. die neue Qualität der möglichen Gen- und Merkmalskombinationen und die damit verbundene mangelnde Erfahrung über mögliche Auswirkungen hinzu. Zu berücksichtigen sind auch die Geschwindigkeit und die Ubiquität, mit der gentechnische Veränderungen an Kulturpflanzen unter sehr unterschiedlichen Rahmenbedingungen vorgenommen werden. Es ist aber auch denkbar, daß sich in Zukunft Übergänge zwischen dem Pythia-Typ und den Risikotypen Medusa oder Zyklus ergeben.

An dieser Stelle muß jedoch betont werden, daß die Bewertung nur für die Freisetzung und das Inverkehrbringen transgener Pflanzen gilt. Eine Freisetzung transgener Mikroorganismen (z. B. bei der Bodensanierung) ist aufgrund ihres hohen Vermehrungspotentials, ihrer Kleinheit und Mobilität mit be-

deutend höheren Risikopotentialen verbunden. Ein einmal freigesetzter Stamm wird in der Gesamtheit nicht mehr zurückgeholt werden können (Pühler, 1998b).

5 Stoffliche Risiken

5.1 Stoffliche Zeitbomben

Viele Stoffe natürlicher oder anthropogener Herkunft, die sich in Boden, Wasser, Luft oder in den Nahrungsmitteln befinden, stellen potentielle Gesundheitsrisiken für den Menschen dar. Wenn die Stoffe auf die biotische Umwelt einwirken, so können sie dort Organismen schädigen und zu negativen Veränderungen der Struktur und Funktion von Ökosystemen führen.

Bei vielen Stoffen ist die Abgrenzung zwischen Chance und Risiko besonders schwierig, da sowohl stofflicher Mangel als auch stofflicher Überfluß für Lebewesen und deren Gesellschaften schädlich sein können (Abb. 5.1-1). Auf die Schwierigkeiten, die stofflichen Risiken abzuschätzen, wies bereits Para-

celsus (1493–1541) hin, als er feststellte: „Alle Dinge sind ein Gift und nichts ist ohne Gift, allein die Dosis macht, daß ein Ding kein Gift ist.“

Die Bewertung wird erschwert, da es auch Stoffe gibt, die in jedem Fall toxisch wirken, also keine Schwellenwerte aufweisen und bei denen Toleranzwerte bei den Schäden definiert werden müssen. Dies ist z. B. bei den genotoxischen (mutagenen) Substanzen der Fall. Neben direkten Wirkungen von Stoffen, die in der Toxikologie als Dosis-Wirkungs-Beziehungen dargestellt werden, sind in den vergangenen Jahren zunehmend solche stoffliche Risiken in das Zentrum des Interesses getreten, bei denen die Eintrittswahrscheinlichkeit oder das Schadensausmaß nur schlecht abzuschätzen sind. Viele Stoffe weisen komplexe Verbreitungs- und Akkumulationsmechanismen in der Umwelt auf und können in komplexer Weise wirksam werden. Damit erhalten wissen-

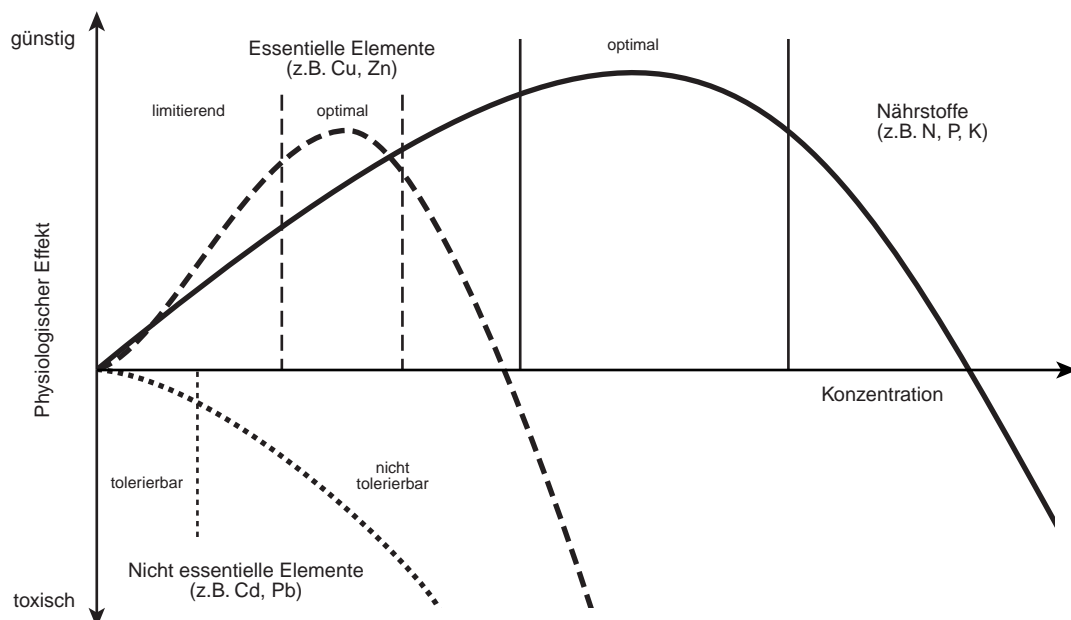


Abbildung D 5.1-1

Dosis-Wirkungs-Kurven für verschiedene Stoffgruppen. Essentielle Elemente sind unerlässlich für den Stoffwechsel.

Quelle: WBGU

schaftliche Risikoberechnungen auch die Funktion von Früherkennungsindikatoren.

Menschen greifen bereits heute in beträchtlichem Umfang in die natürlichen biogeochemischen Kreisläufe des Wassers, Kohlenstoffs, Stickstoffs und Schwefels ein. Da es sich beim Wasser und den genannten Elementen um essentielle Lebensgrundlagen für Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen handelt, bleiben diese Eingriffe nicht ohne Folgen für die Ökosphäre. Menschen produzieren außerdem eine Vielzahl von Substanzen, die in der Natur nicht vorkommen (Xenobiotika) und über deren Verhalten in der Umwelt erst Erfahrungen gesammelt werden müssen.

Nach den Erhebungen des Chemical Abstract Service sind heute über 11 Mio. chemische Substanzen beschrieben, mit einem Zuwachs von ca. 400.000 Substanzen pro Jahr, von denen ca. 100.000 in den Handel gelangen. In Deutschland werden jährlich 5.000 Substanzen mit einer Masse von mehr als 10 t produziert (Streit, 1994).

Bei fast allen chemisch-technischen Synthesen entstehen Nebenprodukte, deren Zusammensetzung nicht immer bekannt ist. Die hieraus resultierenden Risiken sind dementsprechend nicht abschätzbar. Bei den bekannten chemischen Substanzen ist in den Industriestaaten der Umgang mit ihren stofflichen Risiken weitgehend geregelt. Dies kann für große Teile der Welt aber nicht angenommen werden. Auch bei den bekannten chemischen Verbindungen treten in einigen Fällen schleichende Veränderungen auf, deren Langzeiteffekte weder im Hinblick auf den Eintrittszeitpunkt noch auf die Schadenshöhe vorhergesagt werden können.

Im folgenden werden beispielhaft 3 unterschiedliche, durch anthropogene Stoffemissionen induzierte globale Risiken beschrieben:

- die Veränderung der biogeochemischen Kreisläufe von Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel,
- persistente organische Schadstoffe (POPs),
- endokrin wirksame Stoffe.

5.2

Anthropogene Veränderung biogeochemischer Kreisläufe

Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel werden von allen lebenden Organismen für ihr Wachstum, ihre Entwicklung und Fortpflanzung in vergleichsweise großen Mengen benötigt. Gleichzeitig sind sie in vielen terrestrischen Ökosystemen nur begrenzt verfügbar, so daß sich Organismen und Ökosysteme im Lauf der Evolution verschiedenartig an diese limitierenden Verhältnisse angepaßt haben (z. B. stickstoffarme boreale Nadelwälder). Durch die hohen an-

thropogenen Emissionen verschiedener Verbindungen dieser Elemente ist eine für die Biosphäre bislang nicht dagewesene Situation entstanden:

- Alle 3 Elemente sind zunehmend gleichzeitig in größeren Mengen (oder regional sogar im Überschuß) verfügbar, was zur Eutrophierung von Ökosystemen führt.
- Die anthropogenen Veränderungen der Elementkreisläufe haben sowohl wachstumsfördernde Wirkungen (Düngungseffekte) als auch eine wachstumshemmende und destabilisierende Wirkung, die über verschiedene Reaktionsprodukte und Wechselwirkungen vermittelt wird (z. B. Versauerung und Kationenverarmung; Ulrich und Sumner, 1991).
- Die 3 Elemente und ihre Verbindungen haben primär keine akute toxische Wirkung, sie können jedoch schleichend wirksam werden, so daß eine Erkennung des Risikopotentials veränderter biogeochemischer Kreisläufe nur schwer und zumeist mit erheblicher zeitlicher Verzögerung möglich ist. Solche schleichenden Risiken suggerieren, daß kein Handlungsbedarf besteht. Außerdem ist eine Umkehrung der in dem Ökosystem auftretenden Prozesse und Entwicklungen aufgrund von Sekundäreffekten, wie der Akkumulation von Säuren oder möglicherweise dem Verlust von Biodiversität, nicht oder nur innerhalb langer Zeiträume möglich (Alewell et al., 1997).

Die unmittelbaren Reaktionen und Reaktionsmuster von Organismen und Ökosystemen auf Veränderungen der einzelnen Elementkreisläufe von Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel sind zu einem großen Teil bereits bekannt (Kap. D 5.3.1). Wie die Biosphäre aber auf den neuartigen „Expositions-Cocktail“ reagieren wird, ist weitgehend ungeklärt und kann aufgrund seiner Neuartigkeit nur mit großen Unsicherheiten abgeschätzt werden.

5.2.1

Anthropogene Quellen

Die Veränderung globaler biogeochemischer Kreisläufe stellt, sowohl hinsichtlich der Ursachen als auch der Folgen, eine der wichtigsten Komponenten des Globalen Wandels dar und führt zur Destabilisierung der natürlichen Stoffkreisläufe. Allein die anthropogene jährliche Stickstofffixierung (Düngerindustrie, Leguminosenanbau, Verbrennungsprozesse) ist größer als die Stickstofffixierung aller natürlichen Prozesse (IPCC, 1996a). Die anthropogenen Ammoniakemissionen betragen mehr als das Doppelte der natürlichen Quellen (70% der gesamten Ammoniakemissionen), und auch die anthropogenen Freiset-

zungen von Stickoxiden (NO_x) und Distickstoffoxid (N_2O) (auch Lachgas genannt) erreichen in etwa die durch natürliche Prozesse hervorgerufenen Größenordnungen.

Die wichtigsten anthropogenen Quellen für Kohlenstoff-, Schwefel- und Stickstoffverbindungen sind Verbrennungsprozesse in Industrie, Verkehr und Haushalten. Landnutzungsänderungen und -formen sind neben der Freisetzung von Kohlendioxid (CO_2) eine der Hauptursachen für die Emissionen von Methan (CH_4), Kohlenmonoxid (CO) und N_2O (Vitousek, 1994; Flaig und Mohr, 1996; Schlesinger, 1997). Die Verbrennung von Biomasse (Brandrodung, Feuerholz) spielt in manchen Regionen im Schwefel- und Stickstoffkreislauf eine wichtige Rolle. Der Anteil der Verbrennung von Biomasse an den globalen Emissionen von Schwefeldioxid (SO_2) beträgt zwar lediglich 2–5%, in Amazonien oder Westafrika ist diese Verbrennung jedoch die wichtigste SO_2 -Quelle (Berner und Berner, 1996). Die stickstoffintensive Landwirtschaft der Industrieländer stellt eine der bedeutendsten Quellen für Stickstoffemissionen, insbesondere von Ammoniak (NH_3) und N_2O , dar (Isermann, 1993; Flaig und Mohr, 1996; van der Voet et al., 1996; van der Ploeg et al., 1997).

5.2.2

Globale Verteilung von Stickstoff und Schwefel

Bei den Säuren und Säurebildnern dominieren die Schwefel- und Stickstoffverbindungen, die über trockene und nasse Deposition in die terrestrischen Ökosysteme gelangen. Der anthropogene Anteil an den gesamten Säureeinträgen liegt bei 40–50% (Berner und Berner, 1996).

Für die Darstellung der Verteilung und der Depositionen wurden Modellrechnungen durchgeführt, die eine flächenhafte Darstellung ermöglichen (WMO, 1997). Die Deposition oxidierter Schwefelverbindungen wurde mit dem gekoppelten Atmosphäre-Ozean-Zirkulationsmodell ECHAM4/OPYC (Roeckner et al., 1996) simuliert, die Deposition oxidierter Stickstoffverbindungen mit dem Atmosphärenmodell ECHAM4. Der globale Kreislauf der reduzierten Stickstoffverbindungen (Ammoniak und Ammonium) ist weniger gut bekannt. Die Ammoniumdeposition wurde mit dem globalen atmosphärischen Transportmodell MOGUNTIA (Zimmermann et al., 1989) berechnet.

Die Deposition oxidierter Stickstoffverbindungen auf den Landmassen ist um den Faktor 5–25 größer als über den angrenzenden Ozeanen, die bei 5–100 $\text{mg N m}^{-2} \text{ Jahr}^{-1}$ liegen (Abb. D 5.2-1).

Reduzierte Stickstoffverbindungen weisen erhöhte Depositionsraten von 500–1.000 $\text{mg N m}^{-2} \text{ Jahr}^{-1}$

über weiten Teilen Europas, Chinas und Indiens auf (Abb. D 5.2-2). Dies ist auf die Emissionen aus Landwirtschaft und Viehhaltung zurückzuführen, im Gegensatz zu den vorwiegend industriellen und verkehrsbedingten Emissionen oxidierter Stickstoffverbindungen. Dennoch stimmen die Gebiete erhöhter Deposition von reduzierten Stickstoffverbindungen weitgehend mit denen der oxidierten Stickstoffverbindungen überein. Ausnahmen bilden Teile Südamerikas und Afrikas. Es ist außerdem bemerkenswert, daß die Zentren der Schafzucht in Australien und Neuseeland mit einer 4–10fach höheren Depositionsraten für reduzierte Stickstoffverbindungen zu erkennen sind.

Die oxidierten Schwefelverbindungen werden auf der nördlichen Hemisphäre ähnlich verfrachtet wie die oxidierten Stickstoffverbindungen (Abb. D 5.2-3). Die Südhemisphäre zeichnet sich dagegen durch mehrere räumlich eng begrenzte Zentren der Deposition aus, die die verdichteten Ballungsräume mit Industrieansiedlungen charakterisieren. Sie erreichen allerdings mit rund 2.500 $\text{mg S m}^{-2} \text{ Jahr}^{-1}$ nicht das Niveau der Brennpunkte auf der nördlichen Hemisphäre.

Die Säureeinträge in die terrestrischen Ökosysteme ergeben sich aus der Verbreitung der Stickstoff- und Schwefeldepositionen. Um die Bandbreite der möglichen Säurebelastungen zu verdeutlichen, wurden die minimalen und die maximalen Säureeinträge errechnet (Abb. D 5.2-4). Dazu wurden im Minimumszenario Stoffumsätze im System Pflanze-Boden berücksichtigt, im Maximumszenario wurde Stickstoffsättigung des Systems angenommen. Die neutralisierende Wirkung durch die Freisetzung von basisch reagierenden Alkali- und Erdalkalitionen aus Bodenstäuben oder Flugaschen konnte aufgrund fehlender Daten bei den Depositionsberechnungen nicht berücksichtigt werden. Im Minimumszenario erreichen die Säureeinträge über den nordhemisphärischen Ballungsräumen Werte bis zu 450 $\text{mg H}^+ \text{ m}^{-2} \text{ Jahr}^{-1}$. Sie liegen damit um den Faktor 40–200 über denen der unbelasteten kontinentalen Regionen. Im Maximumszenario treten durch die volle Säurewirksamkeit von Ammoniumnitrat und Ammoniumsulfat Depositionsraten bis zu 1.000 $\text{mg H}^+ \text{ m}^{-2} \text{ Jahr}^{-1}$ auf.

Die Emissionen von Schwefel- und Stickstoffverbindungen werden sich mit zunehmender Industrialisierung, zunehmendem Verkehrsaufkommen und der Intensivierung der Landnutzung weiter erhöhen und können auch in den Entwicklungsländern der Südhemisphäre zu großflächigen Versauerungen und Nährstoffungleichgewichten führen. Diese sind mit einer einseitigen Anreicherung des Hauptnährstoffs Stickstoff und einem Anstieg von CO_2 in der Atmosphäre verbunden. Regional wird diese Entwicklung durch globale Biomasseströme im Zusammenhang

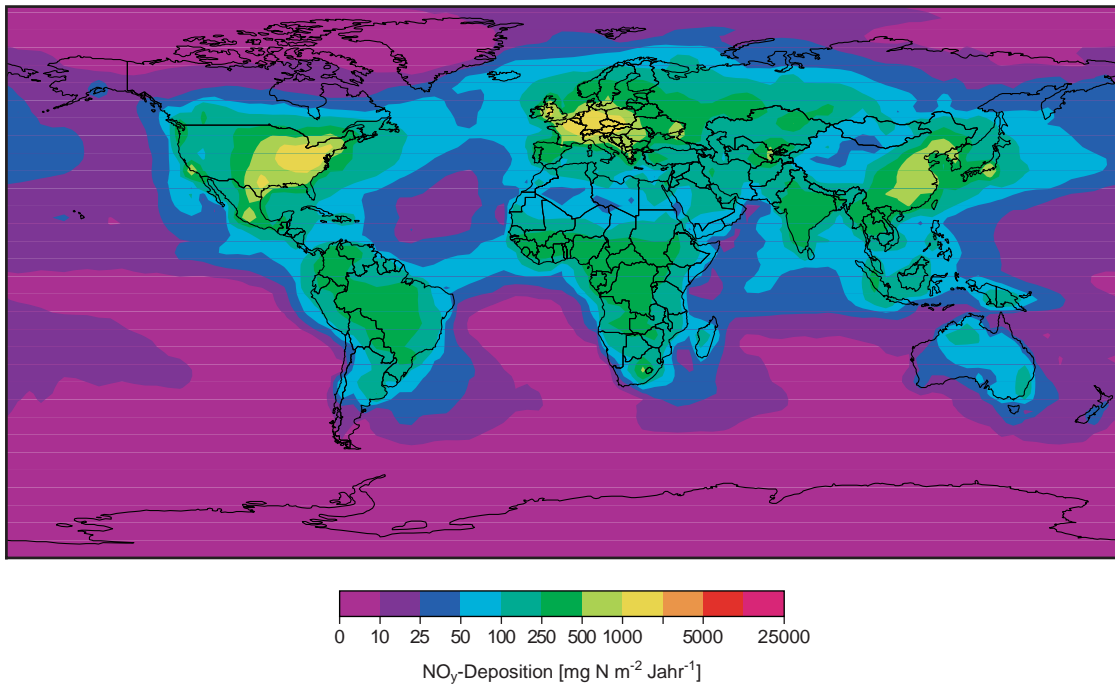


Abbildung D 5.2-1
 Verteilung der mittleren jährlichen Deposition oxidierten Stickstoffverbindungen (NO_y) im Zeitraum von 1980–1990.
 Quellen: Max-Planck-Institut für Meteorologie und WBGU

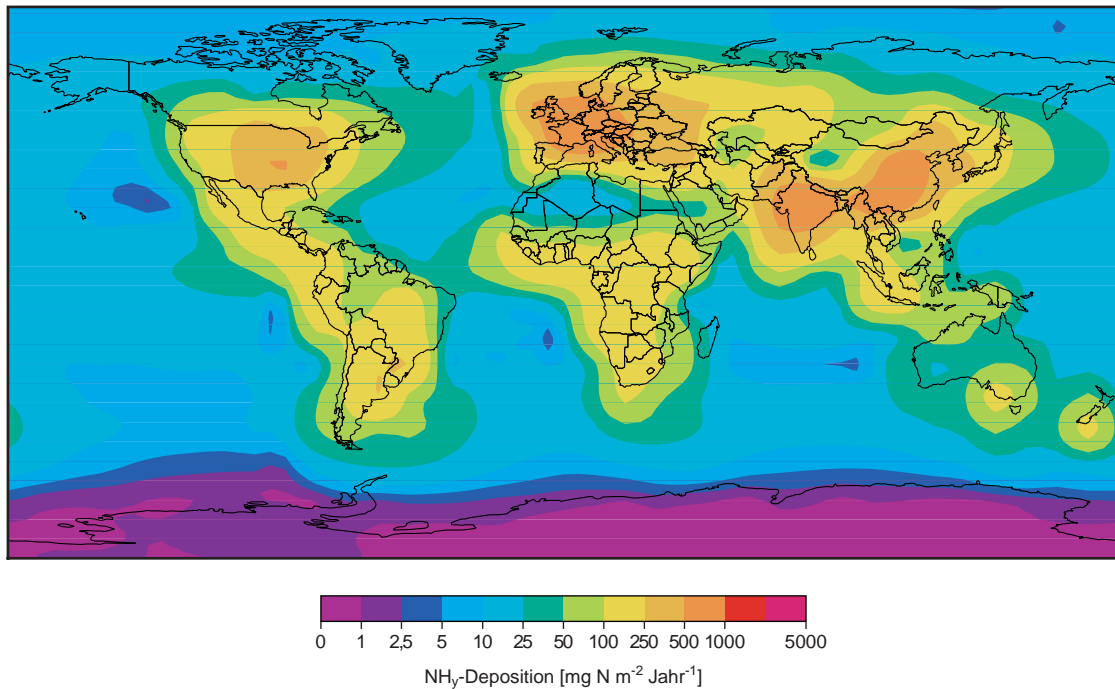


Abbildung D 5.2-2
 Verteilung der mittleren jährlichen Deposition reduzierter Stickstoffverbindungen (NH₃) im Zeitraum von 1980–1990.
 Quellen: Max-Planck-Institut für Meteorologie und WBGU

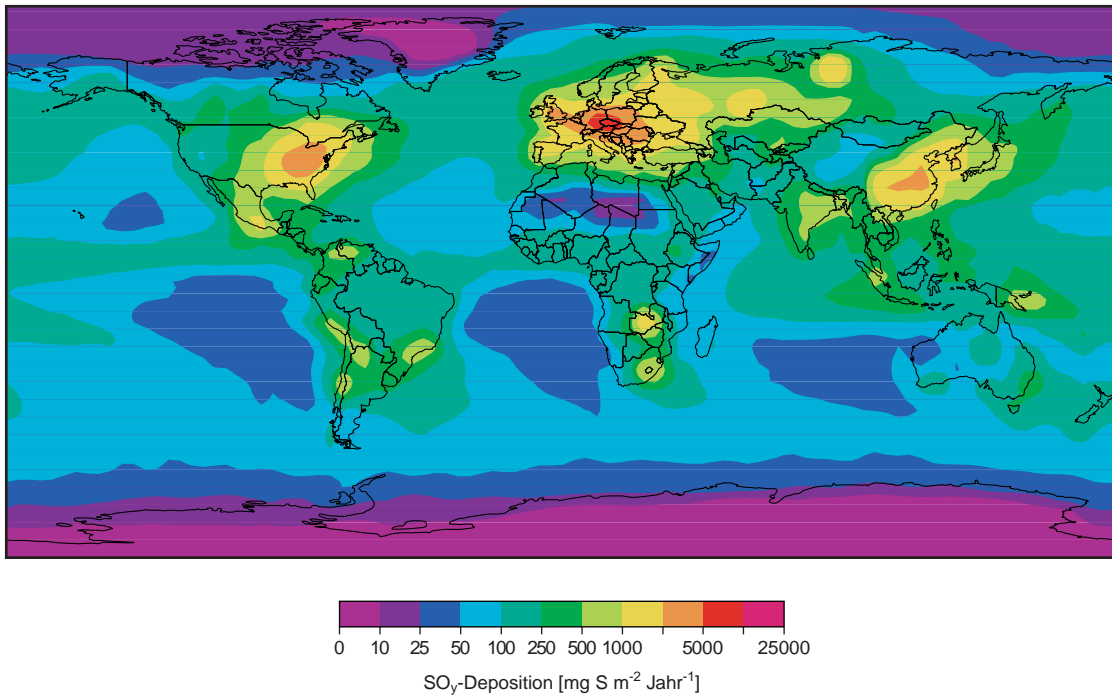


Abbildung D 5.2-3

Verteilung der mittleren jährlichen Deposition oxidierten Schwefelverbindungen (SO_2) im Zeitraum von 1980–1990.

Quellen: Max-Planck-Institut für Meteorologie und WBGU

mit dem internationalen Handel von Agrarprodukten modifiziert (Kasten D 5.2-1).

5.2.3

Auswirkungen von CO_2 -Emissionen auf terrestrische Ökosysteme

Neben der CO_2 -bedingten Erwärmung und der damit gekoppelten Umverteilung der Niederschläge (WBGU, 1998a), die zur Veränderung der Verbreitung und Struktur terrestrischer Ökosysteme führen können, kann die zunehmende CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre zu einer vermehrten Kohlenstoffaufnahme der Pflanzen führen (CO_2 -Düngeeffekt). Nach Angaben des IPCC (1996b) wurden in den 80er Jahren durch den CO_2 -Düngeeffekt jährlich etwa 0,5–2 Gt C durch die terrestrische Biosphäre gebunden.

Die Photosynthesekapazität der Biosphäre ist jedoch begrenzt, und es wird damit gerechnet, daß die im Lauf des nächsten Jahrhunderts erwartete CO_2 -Verdopplung in der Atmosphäre nur noch zu einer Erhöhung der Nettoprimärproduktion um 5% führen wird (Mooney et al., 1998; WBGU, 1998a). Gleichzeitig wird erwartet, daß die geringen Zuwächse der Nettoprimärproduktion durch den weiteren Temperaturanstieg und die damit verbundene

gesteigerte Atmung kompensiert oder übertroffen werden (Scholes et al., 1998). Unklar ist, wie sich die oben dargestellte Stickstoffeutrophierung und die gleichzeitig ablaufende Versauerung und Nährstoffauswaschung langfristig auf Kohlenstoffbindung, Artenzusammensetzung sowie Struktur und Funktion terrestrischer Ökosysteme auswirken. Bei der Größe der betroffenen Flächen kann daraus ein nicht abzuschätzendes Risiko erwachsen.

5.2.4

Fallbeispiel: Destabilisierung von Waldökosystemen

Veränderungen der Austauschprozesse von Energie und Stoffen können zu irreversiblen Veränderungen der Struktur und Funktion von Ökosystemen führen, wenn die Belastungen den Bereich der systeminternen Regelungs- und Reparaturmöglichkeiten überschreiten. Zusätzlich können stoffliche Belastungen nicht nur interne Veränderungen verursachen, sondern auch Schadstoffemissionen aus Böden induzieren, die terrestrische und aquatische Nachbarsysteme sowie das Grundwasser und die Atmosphäre belasten. Da diese Prozesse in der Regel nur langsam verlaufen und gepuffert sind, ist es schwierig, Veränderungen und Wirkungen zu erkennen, so daß die Ri-

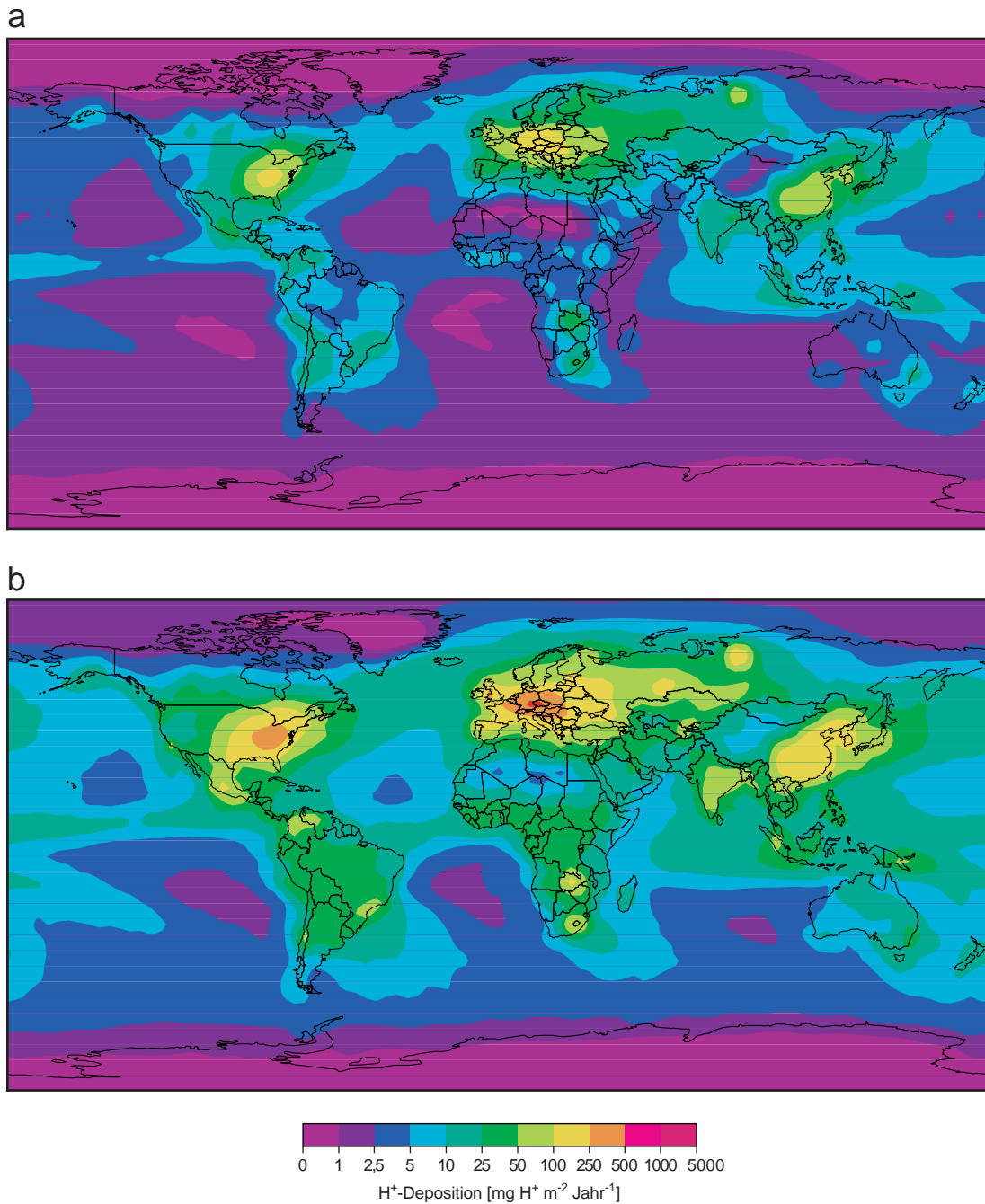


Abbildung D 5.2-4
 Verteilung der jährlichen Säuredeposition (H⁺) im Zeitraum von 1980–1990. **a** Minimumszenario, **b** Maximumszenario.
 Quellen: Max-Planck-Institut für Meteorologie und WBGU

siken stofflicher Belastungen häufig unterschätzt werden.

Nicht nur die Strukturen von Waldökosystemen werden verändert, sondern auch ihre Funktionen (Lebensraum-, Regelungs-, Nutzungs- und Sozialfunktion). Die Versauerung der Böden und die damit

verbundene mangelhafte oder unausgewogene Nährstoffzufuhr destabilisieren Waldökosysteme und machen sie anfällig gegenüber biotischen und abiotischen Stressoren. In Regionen mit geringer Pufferfähigkeit und Tiefgründigkeit der Böden treten Versauerungen auch im Grundwasser oder in

Kasten D 5.2-1

Stickstoffimporte über den Welthandel mit landwirtschaftlichen Produkten

Die landwirtschaftliche Produktion ist stark von der Stickstoffversorgung der Pflanzen und Tiere abhängig. Während Pflanzen den aufgenommenen Stickstoff vollständig verwerten, benötigen Tiere sehr viel Stickstoff, da sie ihn nur sehr ineffizient verwerten. So enthalten die tierischen Produkte aus der intensiven Tierproduktion nur $\frac{1}{3}$ – $\frac{1}{4}$ des verfütterten Stickstoffs. Um den hohen Fleischkonsum in Europa zu decken, ist daher nicht nur eine intensive Massentierhaltung notwendig, sondern es werden auch stickstoffreiche Futtermittel wie Soja- und Ölsamenschrote aus dem Ausland importiert. 1992–1993 importierten die europäischen Staaten 2,4 Mio. t Stickstoff im Jahr in Form von Futtermitteln (Lammel und Flessa, 1998). Das entspricht bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche Europas einem Stickstoffimport von rund $13 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$. Umgekehrt exportierte Lateinamerika 2,4 Mio. t N in Form von Futtermitteln. Weltweit betrug der interkontinentale Handel mit den wichtigsten landwirtschaftlichen Gütern 1992–1993 rund 11 Mio. t N Jahr^{-1} (Düngemittel 6,3 Mio. t, Futtermittel 4,6 Mio. t, Frischfleisch und Lebendvieh ca. 0,5 Mio. t; Lammel und Flessa, 1998).

Damit wird der Stickstoffkreislauf nicht nur regional, sondern auch global entkoppelt. In den Empfängerländern steht Stickstoff im Überschuss zur Verfügung und verursacht eine Belastung des Grundwassers mit Nitrat, eine Eutrophierung von Oberflächengewässern (WBGU, 1998a) und verstärkt die Ammoniakfreisetzung in die Atmosphäre mit den damit verbundenen Risiken für natürliche und naturnahe Ökosysteme (Fangmeier et al., 1994; Kasten D 5.2-2). Da in der Massentierhaltung die tierischen Exkremente über-

wiegend in Form von Gülle anfallen, deren Lagerung und Ausbringung mit besonders hohen Ammoniakfreisetzungen verbunden ist, sind die Futtermittelimporte mit einem größeren Risikopotential verbunden als die Menge allein erwarten läßt. In England beispielsweise ist die Tierhaltung für 95% der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen verantwortlich (Skinner et al., 1997), auch für Deutschland wird der Anteil auf etwa 90% geschätzt (Flaig und Mohr, 1996). Zudem sind die Tierproduktion und damit auch die Futtermittelimporte regional sehr unterschiedlich verteilt.

In den Futtermittel exportierenden Ländern Lateinamerikas spielt zwar der Stickstoffzug keine Rolle (der Stickstoff wird dem inerten N_2 -Pool der Atmosphäre entnommen und exportiert), dagegen tritt eine Vielzahl von Sekundäreffekten auf, angefangen bei der Rodung von Primärwäldern zugunsten des Sojaanbaus (z. B. im Pantanal, Brasilien; WBGU, 1998a), gefolgt von CO_2 -Freisetzung, Gefährdung der Biodiversität und Bodenversauerung und Basenverarmung durch die stickstofffixierenden Leguminosen bis hin zu soziokulturellen Folgen wie z. B. dem Verlust von Gebieten indigener Völker. Die Risiken dieser Sekundäreffekte in den futtermittel exportierenden Ländern wurden bislang wenig beachtet, und das Schadensausmaß ist noch unbestimmt.

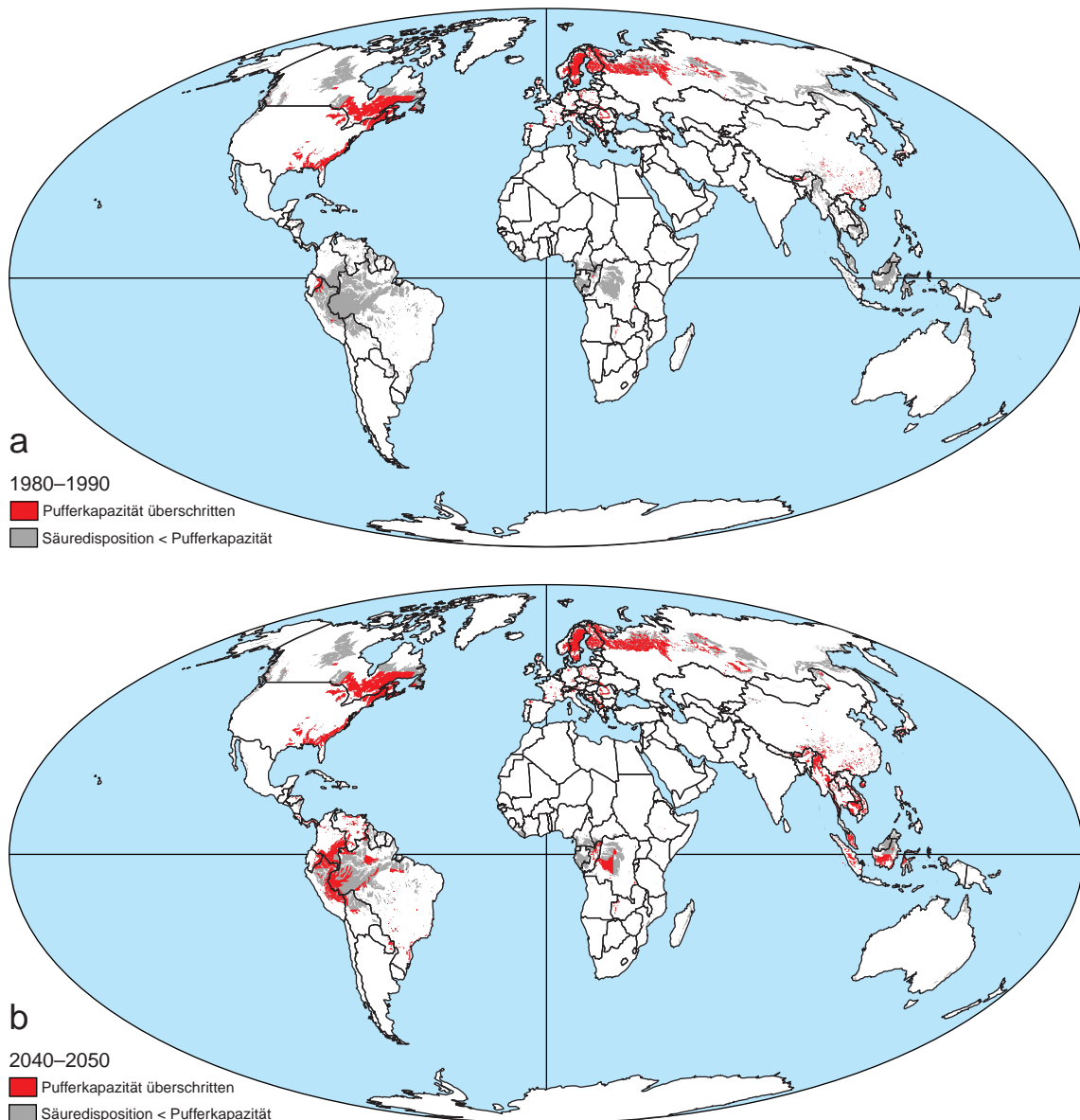
Die wirkungsvollste Maßnahme zur Verringerung des weltweiten Handels mit stickstoffreichen, landwirtschaftlichen Produkten und den damit verbundenen Risiken ist eine Reduzierung des Fleischkonsums in den Importländern. Zudem könnte in den Empfängerländern das Risiko der Belastung nicht landwirtschaftlicher Ökosysteme oder des Grundwassers durch die Verminderung von Stickstoffüberschüssen verringert werden. Als Maßnahmen können dazu beispielsweise die Steigerung der Düngeneffizienz, die standortspezifische Auswahl der Düngeform und kurze Lagerungszeiten der Exkremente dienen.

Oberflächengewässern auf. Die aus den Emissionen oxidiertes Schwefel- und Stickstoffverbindungen entstehenden Säuren gelangen direkt durch Niederschläge in die Böden, während die Emission reduzierter Stickstoffverbindungen in der Atmosphäre neutralisierend wirkt und erst durch die Oxidation im Boden (Nitrifikation) zur Versauerung beiträgt. Eine weitere indirekte Säurequelle ist die Aufnahme von gasförmigem SO_2 , NO_x und gelöstem NH_4^+ durch die Pflanze, welche durch Aufnahme von Kationen oder die Abgabe von H^+ kompensiert wird. Um die gesamte Säuredeposition zu erfassen, sind außerdem die Pflanzen zu berücksichtigen, weil sie durch Filterwirkung die Säurebelastung modifizieren. So sind in Deutschland für Buchenbestände um 1,1–2,0fach, für Fichtenbestände um 2,1–3,6fach erhöhte Depositionen im Vergleich zu Freilanduntersuchungen ermittelt worden (Veerhoff et al., 1996).

Da globale Daten für die Ermittlung der Säureneutralisationskapazität (SNK) von Böden nicht vorliegen, wurden auf der Grundlage der FAO-Weltbodenkarte (1995) nährstoffarme und pufferungsschwache Regionen identifiziert. Berücksichtigt wurden dabei die Oberböden (0–30 cm) als ökologisch

wichtigste Bereiche für Vegetation und Bodenlebewesen. Es wurden Pufferungskapazitäten von Böden berechnet und mit der Säurebelastung (Abb. D 5.2-4) sowie den globalen Waldflächen in Beziehung gesetzt, um abzuschätzen, wo die Pufferkapazität überschritten wird (Waldinventar: WCMC, 1997; Abb. D 5.2-5a). Hierbei handelt es sich um eine konservative Abschätzung, da beispielsweise auf Waldstandorten mit Säuredeposition in Mitteleuropa die pH-Werte und die Basensättigung deutlich niedriger liegen als in der FAO-Bodenkarte (UN-ECE und EC, 1997). Unter Verwendung eines mittleren IPCC-Szenarios über zukünftige Emissionen (IS92a; IPCC, 1992) wurde in gleicher Vorgehensweise die Säurebelastung für die Jahre 2040–2050 abgeschätzt (Abb. D 5.2-5b).

Große Bereiche der noch vorhandenen Wälder in den temperaten Regionen erhalten Säureeinträge von mehr als $50 \text{ mg H}^+ \text{ m}^{-2} \text{ Jahr}^{-1}$. In Mitteleuropa lag die modellierte Säurebelastung zwischen 1980–1990 bei 250 – $500 \text{ mg H}^+ \text{ m}^{-2} \text{ Jahr}^{-1}$ (Maximumszenario). Diese Werte stimmen gut mit den Ergebnissen aus dem Solling-Projekt mit 480 im Jahr 1980 bzw. $260 \text{ mg H}^+ \text{ m}^{-2} \text{ Jahr}^{-1}$ im Jahr 1991 überein (Mander-



Abbildungen D 5.2-5

Überschreitung der Pufferkapazität von versauerten bzw. versauerungssensitiven Böden unter Waldökosystemen.

a Abschätzung für 1980–1990, **b** Abschätzung für 2040–2050.

Quellen: Institut für Bodenkunde und Waldernährung, MPI für Meteorologie und WBGU unter Verwendung der Daten von IPCC, 1992; FAO, 1995 und WCMC, 1997

scheid et al., 1995). Dabei ist auffällig, daß in Mitteleuropa kaum säurebelastete Waldstandorte auf pufferungsschwachen Böden ausgewiesen werden (Abb. D 5.2-5), obwohl für die EU-Staaten 53% der Waldböden pH-Werte unter 4,0 und 42% eine Basensättigung von weniger als 20% aufweisen (UN-ECE, 1997). Durch die starke Zergliederung der mitteleuropäischen Wälder wurden die Flächenanteile von Waldböden in der FAO-Bodenkarte oft nicht be-

rücksichtigt. Diesen Waldflächen wurden daher die Bodenkennwerte der besser gepufferten und nährstoffversorgten Waldstandorte zugewiesen. Die Abbildungen verdeutlichen, daß sich die Bereiche, in denen die Grenzen der Pufferkapazität erreicht oder überschritten werden, in den nächsten 50 Jahren in die Tropen ausdehnen werden. Betroffen sind v. a. Südamerika und Südostasien. Zusätzlich sind diese Wälder auch einem erhöhten Eintrag von Stickstoff

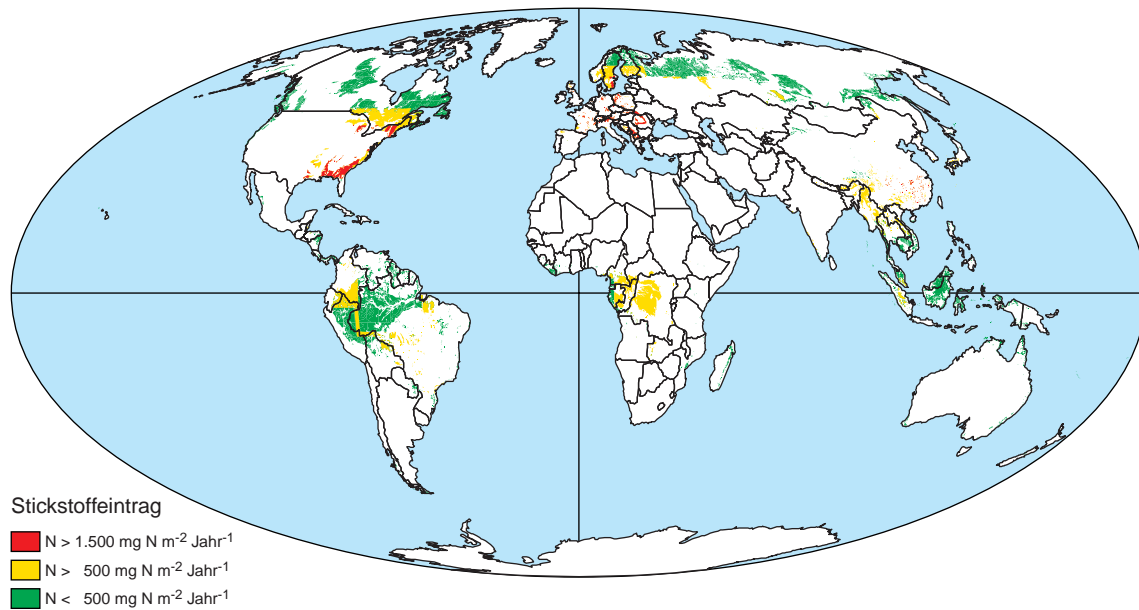


Abbildung D 5.2-6

Waldökosysteme auf versauerten bzw. versauerungssensitiven Böden mit erhöhten Stickstoffeinträgen.

Quelle: Institut für Bodenkunde und Waldernährung, MPI für Meteorologie und WBGU unter Verwendung der Daten von FAO, 1995 und WCMC, 1997

ausgesetzt, der als Pflanzennährstoff das Wachstum fördert, so daß Waldökosysteme mehr Kohlenstoff fixieren können. Dieses Potential wird vom IPCC (1996b) global auf 0,2–1 Gt C geschätzt. Diesem erhöhten Wachstum steht allerdings eine auf zahlreichen physiologischen und ökosystemaren Wirkungen beruhende Destabilisierung entgegen (Tab. D 5.2-1). Erhöhte Stickstoffeinträge verstärken außerdem die Freisetzung von Distickstoffoxid und wirken damit in Bezug auf die Klimawirksamkeit der zusätzlichen Bindung von CO₂ entgegen.

In Abb. D 5.2-6 sind die Waldökosysteme dargestellt, die einen höheren als den natürlichen Stickstoffeintrag von 100–500 mg N m⁻² Jahr⁻¹ aufweisen (Kimmins, 1987; Flaig und Mohr, 1996). In Anlehnung an die Erhebungen der critical loads in Europa (Bobbink et al., 1992) sind außerdem die Waldregionen aufgeführt, die Stickstoffeinträge von mehr als 1.500 mg N m⁻² Jahr⁻¹ aufweisen. Gleichzeitig erhalten diese Gebiete Säureeinträge, die zu einer erheblichen Überschreitung der Pufferkapazität führen (Abb. D 5.2-4).

Die Reaktion der Wälder auf erhöhte CO₂-Konzentrationen umfaßt neben Veränderung der Photosynthese oder Atmung auch Änderungen in der Wechselbeziehung mit anderen Organismen im Ökosystem. Auf der Ökosystemebene läßt sich der CO₂-Düngeeffekt bisher kaum quantifizieren, da auch er von vielen Teilprozessen abhängt (Stickstoffspeicherung, Strukturveränderung des Systems, De-

komposition, Respiration) (Houghton et al., 1998). Daneben sorgt CO₂ als Treibhausgas auch indirekt über den Klimawandel für eine Veränderung der räumlichen Verteilung und der Struktur der Ökosysteme mit Folgen für z. B. Artenzusammensetzung, Populationsdynamik, Interaktion zwischen den Organismen und Sukzession (Kap. D 6).

5.2.5

Wechselwirkungen

Tab. D 5.2-1 faßt die Kombinationswirkungen der Belastungsfaktoren und der daraus möglicherweise erwachsenen Risiken für Ökosysteme zusammen. Auch wenn diese Risiken bisher nicht vollständig abzuschätzen sind, erzwingen schon die bekannten Folgen der Veränderungen biogeochemischer Kreisläufe eine sofortige Reduzierung der anthropogenen Stoffemissionen. Die in der Tabelle angegebenen Mechanismen und Risikopotentiale sind nur Beispiele einer Vielzahl möglicher Reaktionen und Wechselwirkungen.

5.2.6

Gegenwärtiger Umgang mit dem Risiko

Mit der Ratifizierung des Übereinkommens über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreini-

Kasten D 5.2-2

Destabilisierung von Waldökosystemen: Realität oder Konstrukt?

Anfang der 80er Jahre begann die intensive Diskussion über die Waldschäden in Mitteleuropa, die wie bei komplexen Systemen wohl unvermeidlich kontrovers geführt wurde. In den Medien hatte das Thema „Waldsterben“ Konjunktur, und es wurden Szenarien beschrieben, die die völlige Entwaldung Mitteleuropas vorhersagten. Daraufhin wurde die Forschung am „Patienten Wald“ intensiviert. Aus der Vielzahl der Hypothesen konnte ein Ursachenkomplex für die Destabilisierung der Wälder ermittelt werden, an dem der Mensch maßgeblichen Anteil hat. Die in Mitteleuropa nach den Rodungen verbliebenen Wälder wurden vielfach jahrhundertlang übernutzt, so daß sich die Artenvielfalt veränderte, die Böden versauerten und an Nährstoffen verarmten. 60% der während der Industrialisierung freigesetzten Säure wurden nach 1950 emittiert. Die Stickstoffdepositionen überschreiten seit 20–30 Jahren die Raten, die für den jährlichen Biomassezuwachs von Wäldern benötigt werden. Gleichzeitig stiegen die CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre in den vergangenen 100 Jahren um 25% und die troposphärischen Ozonkonzentrationen um etwa 100%.

Die Wirkungen und Wirkungskombinationen von Stickstoff, Kohlendioxid, Säuren, Ozon und Schadstoffen hängen

vom Standort des Walds ab. Verallgemeinerungen von Beobachtungen an einzelnen Orten können daher zu Fehlinterpretationen führen. Wenn auf verschiedenen Standorten der Holzzuwachs größer ist als je zuvor, ist dieses kein Widerspruch zu den Beobachtungen und Forschungsergebnissen der Vergangenheit. Zum einen läßt sich die Destabilisierung von Waldökosystemen nicht allein am Holzzuwachs messen. Ein Wald ist mehr als die Summe der Bäume. Die Schädigungen der Lebensraum- und Regelungsfunktionen sind langfristig nicht nur für den Wald, sondern auch für seine Umwelt (Grundwasser, Klima) gravierend. Zum anderen haben die in den 80er Jahren getroffenen Maßnahmen (Minderung der SO₂-Emission, Einbau von Katalysatoren zur NO_x-Minderung, Reduzierung der Schwermetallemissionen, Waldkalkungen und naturnaher Waldbau) Wirkung gezeigt. Sie haben verhindert, daß sich das Baumsterben von den exponierten Hochlagen auch in die tieferen Lagen ausbreitet.

Das Ausbleiben katastrophaler Entwicklungen ist nicht die Folge irrtümlicher Annahmen, sondern das Resultat richtigen Handelns beim Erkennen sich abzeichnender Risiken. Diese sind aber noch nicht gebannt. Wie die Ausführungen dieses Kapitels deutlich machen, ist noch immer eine Überlastung der Waldökosysteme festzustellen, allerdings auf niedrigerem Niveau. Völlig unbekannt ist aber die Langzeitwirkung des „Cocktails“ aus SO₂, NO_x, NH₄ und CO₂ auf unsere Wälder.

gungen (Genfer Luftreinhalteabkommen, 1979) haben die (europäischen und nordamerikanischen)

Vertragsstaaten erstmals Konsequenzen aus den vielfältigen Auswirkungen und Risiken von Luftver-

Tabelle D 5.2-1

Übersicht über mögliche Wirkungen und Risikopotentiale der anthropogenen Veränderung biogeochemischer Kreisläufe (↑ zunehmend; ↓ abnehmend; - keine Änderung; ≠ Veränderung; *NPP* Nettoprimärproduktion).

Quellen: Schulze et al., 1989; Mohr und Müntz, 1994; Vitousek, 1994; Amthor, 1995; Dixon und Wisniewski, 1995; Heywood and Watson, 1995; Woodwell und Mackenzie, 1995; Drake et al., 1997; Flaig und Mohr, 1996; IPCC, 1996a; Körner und Bazzaz, 1996; Koch und Mooney, 1996; Walker und Steffen, 1996; Arnone III und Hirschel, 1997; Berg und Matzner, 1997; Foster et al., 1997; Hungate et al., 1997; Kinney et al., 1997; Vitousek et al., 1997a; Gundersen et al., 1998; Mooney et al., 1998; Walker et al., 1998

Stoffe und Stoffkombinationen	Mögliche Wirkungsmechanismen	Beispiele möglicher Risikopotentiale
N	↑ N-Gehalte, ↑ Mineralisierung, ↑ N-Umsätze, ↑ NPP, ↓ Mycorrhizapilze, ↑/↓ Humus	↑ Nitrat im Grundwasser, ↓ Frost-Trockenheit- oder Schädlingsresistenz, ↓ Biodiversität, ↓ Ökosystemfunktionen
N + SO _y	↑ Bodenversauerung, ↑ toxische Ionen (Al), ↓ Feinwurzeln und Mycorrhiza, ↓ Kationen	↑ Nitrat im Grundwasser, ↑ Gewässerversauerung, ↓ Trockenheitsresistenz, ↓ Nährstoffgleichgewicht, ↑ Waldschäden, ↓ Biodiversität, ↓ Ökosystemfunktionen
CO ₂ bei geringer N-Verfügbarkeit	-/↑ NPP, ↑/↓ C/N-Verhältnisse, ↑/↓ Mineralisierung, ↑/↓ Sproß-Wurzel-Verhältnis, -/↑ Wasser- und Nährstoffnutzungseffizienz	≠ Vegetationszusammensetzung, ≠ Populationsdynamik von Pflanzenfressern
CO ₂ + N	↑ C- und N-Akkumulation durch ↑ NPP, ↑/↓ Humus	≠ Artenzusammensetzung, ↓ Biodiversität, ↑ N und ↑ C bei exogenen Störungen (z. B. Landnutzung, Feuer, Klimaänderungen), ↑ Klimaänderung
Klimaänderungen + CO ₂ + N + S	↑ Mineralisierung, ↑ NPP, ↓ C-Speicherung	↑ Vegetationsverschiebungen, ↑ Invasion nicht-heimischer Arten, ↑ Desertifikation, ↑ Klimaänderung

unreinigungen gezogen. Analoge Fortschritte in anderen Regionen der Erde – wie oben gezeigt, wäre dies insbesondere für Ost- und Südostasien erforderlich – sind nicht zu verzeichnen. Seitdem hat die internationale Zusammenarbeit im UN-ECE-Raum neben weiteren Abkommen (z. B. 2. Schwefelprotokoll, 1994) in der Luftreinhaltung zu veränderten Zielen und Strategien geführt. Es wird nicht mehr nur versucht, zulässige Höchstgrenzen von Schadstoffen, sondern auch Sensitivitätsbereiche von Ökosystemen zu ermitteln. Dazu werden mit einem ökosystemaren Ansatz die ökologischen Belastungsgrenzen von Pflanzengemeinschaften oder Böden ermittelt. Der methodische Ansatz zur Erfassung kritischer Immissionsbelastungen (critical loads und critical levels) fußt auf Ergebnissen und Empfehlungen der UN-ECE Arbeitsgruppe von 1988.

Eine Erweiterung des Critical-loads-Ansatzes erfolgte 1995, als erstmals eine integrierte Modellierung der kritischen Säureeinträge mit einem regionalen Modell (RAINS; Alcamo et al, 1990) und einem globalen Integrated-Assessment-Modell (IMAGE 2; Alcamo et al., 1995) vorgenommen und auf 31 Ökosysteme angewendet wurde. Unter Berücksichtigung sozioökonomischer Antriebskräfte wurden in 13 verschiedenen Weltregionen Emissionsprofile modelliert. Sie bilden die Grundlage für Szenarien, die die Sensitivität von Ökosystemen in Europa und Asien hinsichtlich der Kombinationsbelastung von Klimawandel und Säureeintrag aufzeigen (Alcamo et al., 1995). Damit ergibt sich die Möglichkeit einer Risikobewertung, die die Dynamik von terrestrischen Ökosystemen deutlich macht und mögliche Auswirkungen von politischen Maßnahmen bzw. Unterlassungen aufzeigt. Trotz der Möglichkeiten einer solchen integrierten Modellierung ist zu fordern, daß der Critical-loads-Ansatz von der Betrachtung statischer Gleichgewichte zur Anwendung dynamischer Gleichgewichte weiterentwickelt wird und die Randbedingungen so erweitert werden, daß eine größere Zahl von Ökosystemen erfaßt wird. Neben Stickstoffverbindungen und Säurebildnern müßten auch Kohlenstoffverbindungen mit einbezogen werden. Um die Kombinationswirkung der Stoffe zu erfassen, müßte der Ansatz auch synergistische oder antagonistische Wechselwirkungen der beteiligten Stoffe berücksichtigen. Hier besteht großer Bedarf an Grundlagenforschung als Basis für eine Risikoabschätzung. Um kritische strukturelle Merkmale der Ökosysteme zu berücksichtigen, wird in Anlehnung an WBGU (1994) die Erweiterung des Konzepts um die Bereiche „Kritische Eingriffe“ (critical operations), „Kritische Zustände“ (critical states) und „Kritische Austräge“ (critical outputs) empfohlen. Die Verknüpfung eines erweiterten Critical-loads-Ansatzes mit gekoppelten globalen Zirkulationsmodellen

wäre ein wichtiges Hilfsmittel zur Abschätzung schleichender Risiken und ein wertvolles Instrument, um mögliche Auswirkungen von politischen Maßnahmen zu überprüfen. Dies kann aber nur gelingen, wenn die ökologische Bewertungsgrundlage verbessert wird, Indikatoren für die ökologische und ökotoxikologische Bewertung entwickelt werden und die Datenbasis für die Risikoabschätzung erweitert wird.

5.2.7

Zuordnung zu den Risikotypen

Angesichts der bevorstehenden Bevölkerungsentwicklung und des wirtschaftlichen Wachstums werden sich die Kohlenstoff-, Stickstoff- und Schwefel-emissionen verstärken, wenngleich sich die räumlichen Konzentrationsmuster ändern werden. Damit ist die Eintrittswahrscheinlichkeit für das Risiko zur Destabilisierung der terrestrischen Ökosysteme hoch. Das Schadensausmaß wird entsprechend der Konzentrationsmuster regional sehr verschieden ausfallen, ist aber aufgrund der vielfältigen und teilweise ungeklärten Wechselwirkungen mit einer hohen Abschätzungsunsicherheit verbunden, die sowohl die ökologischen als auch die ökonomischen Auswirkungen betrifft. Das Konfliktpotential aufgrund räumlicher Disparitäten kann hoch sein, da es sich um nicht reversible oder zumindest nur sehr langsam umzukehrende Prozesse handelt. Angesichts des schleichenden Charakters und der hohen Komplexität der beteiligten Prozesse ist der Verzögerungseffekt sowohl in den Auswirkungen als auch in der Wahrnehmung des Risikos hoch, so daß das Mobilisierungspotential gegenüber anderen Risiken mit direkt wahrnehmbaren Auswirkungen gering ausfällt und dementsprechend politisch als weniger relevant erachtet wird. Aufgrund dieser Eigenschaften wird dieses Risiko dem Typ Cassandra zugeordnet (Tab. D 5.2-2).

5.3

Persistente organische Schadstoffe

5.3.1

Charakterisierung des Risikos

Schwer oder gar nicht abbaubare organische Schadstoffe führen in hohen Konzentrationen nahe der Quellen zu akut-toxischen Wirkungen, in großer Entfernung vom Emissionsort können aber selbst Spuren dieser Stoffe chronisch-toxische Wirkungen haben. Die langlebigen Stoffe werden aufgrund ihrer

Tabelle D 5.2-2

Anwendung der Kriterien auf das Risiko der Destabilisierung von Ökosystemen durch Eingriffe in globale Stoffkreisläufe. Es gehört zum Risikotyp *Kassandra*. Legende s. Kasten D 2.1-1.
Quelle: WBGU

Kriterium	Eigenschaften				
	Gering	Eher gering	Eher hoch	Hoch	Ungewiß
Eintrittswahrscheinlichkeit <i>W</i>					<input type="checkbox"/>
Abschätzungssicherheit von <i>W</i>					<input type="checkbox"/>
Schadensausmaß <i>A</i>					<input type="checkbox"/>
Abschätzungssicherheit von <i>A</i>					<input type="checkbox"/>
Ubiquität					<input type="checkbox"/>
Persistenz					<input type="checkbox"/>
Irreversibilität					<input type="checkbox"/>
Verzögerungswirkung					<input type="checkbox"/>
Mobilisierungspotential					<input type="checkbox"/>

physikochemischen Eigenschaften (z. B. Dampfdruck, Wasser- und Fettlöslichkeit) über atmo- und hydrosphärische Pfade global verteilt und in unterschiedlichen Umweltkompartimenten angereichert. Dies stellt selbst bei unbekanntem Wirkungen ein Risiko dar. Die Wirkungen sind nur für wenige Arten und nur für einige der etwa 5.000 in größeren Mengen in die Umwelt eingebrachten Xenobiotika bekannt (BUA, 1976). Die Stoffe gelangen beispielsweise durch Lecks in nicht geschlossenen Produktionsabläufen und Anwendungsformen sowie bei der Entsorgung in die Umwelt. Biozide werden gezielt in der Schädlingsbekämpfung ausgebracht. Trotz großer Kenntnislücken werden für beabsichtigt wie unbeabsichtigt ausgebrachte Stoffe ökotoxikologische Risiken in Kauf genommen. Obwohl Schädlingsbekämpfungsmittel vor ihrer Marktzulassung in Europa und den USA einer Umweltverträglichkeitsprüfung unterzogen werden, traten mehrfach unerwartete ökologische Folgeschäden auf. Die etablierten ökotoxikologischen Prüfmethode sind insbesondere hinsichtlich möglicher Kombinationswirkungen auf Einzelorganismen, hinsichtlich der Wirkungen auf das Ökosystem insgesamt und der Einbeziehung komplexer Umweltprozesse nicht adäquat (Lammel und Pahl, 1998). Ein Teil der Biozidmenge gelangt nicht an die Zielorganismen, sondern in Fließgewässer oder in die Atmosphäre. So können sich Pestizide auch in entlegenen Gebieten anreichern. In diesem Zusammenhang werden beispielsweise die auch in den OECD-Staaten verwendeten Insektizide Endosulfan und Fenthion als kritisch betrachtet (UN-ECE, 1997). Eine Reihe von Pestiziden, darunter die bedeutsamen Triazinherbizide, kann auch endokrin wirksam werden. Bei Fließgewässern, die Oberflä-

chenabfluß landwirtschaftlich genutzter Flächen erhalten, wurden Störungen des aquatischen Ökosystems beobachtet und auf Insektizide zurückgeführt (Liess, 1998).

Wichtige persistente organische Schadstoffe (persistent organic pollutants, POPs) sind mono- und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, halogenierte aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe, chlorierte Äther oder Nitrosamine (Callahan et al., 1979). Das Vorkommen dieser Stoffe in der Umwelt wird von den spezifischen Anwendungen, den Transportmustern in den Umweltkompartimenten und den physikochemischen Stoffeigenschaften bestimmt. So sind die Konzentrationen der kritisch zu betrachtenden Stoffe Hexachlorbenzol (HCB), polychlorierte Biphenyle (PCB) und DDT in Umweltkompartimenten und Organismen der Nordhemisphäre höher als in der Südhemisphäre, während Chlordan global gleich verteilt ist. Einige leichtflüchtige Stoffe wie z. B. HCB haben bei niedrigeren Temperaturen eine verminderte atmosphärische Verweildauer, so daß sie in hohen Breiten verstärkt eingetragen werden. Dagegen werden Stoffe mit geringerer Flüchtigkeit, z. B. DDT, Dieldrin und die PCB, in hohen Breiten fern der Emissionsorte in zumeist geringeren Konzentrationen vorgefunden. Wasserlösliche Stoffe, ob gasförmig oder partikulär, werden rasch ausgewaschen. Die meisten POPs sind allerdings nur wenig wasserlöslich. Mit zunehmendem Molekulargewicht (z. B. beim Übergang von den wenig zu den höher chlorierten PCB) nehmen für die wenig wasserlöslichen Stoffe das Verhältnis zwischen den gasförmig und partikelförmig transportierten Mengen und damit die mittlere atmosphärische Verweildauer ab.

Im Gegensatz zu den mit der Akkumulation der meisten konventionellen Schad- und Nährstoffe in der Umwelt verbundenen Risiken entziehen sich die von den persistenten organischen Schadstoffen verursachten Risiken der direkten Wahrnehmung: Ihr Eintrag in die marinen und terrestrischen Ökosysteme erfolgt in kleinen Mengen und typischerweise über den atmosphärischen Pfad. Eine unmittelbare Giftigkeit ist für Tiere und den Menschen bei den vorherrschenden Konzentrationen in der Umwelt und in der Nahrungskette (außer in Verbindung mit starken Emissionen) nicht gegeben. Ein Schadenspotential liegt jedoch dann vor, wenn die Stoffe schon in unsichtbar und unriechbar geringen Konzentrationen human- oder ökotoxisch wirken. Tatsächlich verursachen bereits niedrige Dosen Störungen der Reproduktionsfähigkeit, des Stoffwechsels, des Immunsystems und des Verhaltens sowie Tumoren. Viele persistente organische Schadstoffe haben in toxikologischen Untersuchungen oder nach Exposition in quellnahen Bereichen starke Wirkungen gezeigt (z. B. Haut- und andere Erkrankungen aufgrund der Expositionen gegenüber Dioxin bei Chemieunfällen oder Erkrankungen von Bauern nach nicht sachgerechter Anwendung von Pestiziden). Die Exposition am Arbeitsplatz unterliegt in vielen Ländern einer Regelung (für Deutschland sind dies die MAK-Werte; DFG, 1997). Einatmung und Nahrungsaufnahme sind die wichtigsten Expositionspfade für den Menschen. Besonders relevant sind jene Stoffe, die sich aufgrund ihrer Langlebigkeit in der Ökosphäre oder – sofern sie fettlöslich sind – in der Nahrungskette anreichern. Bei krebsauslösenden Stoffen besteht auch ohne eine solche Anreicherung ein Risiko. Beispielsweise ist die biologische Abbaubarkeit von Phthalsäureestern bei Fleischfressern zwar hoch, bei Pflanzen aber gering (Giam et al., 1984). Ein eher geringer, nicht rasch ausgeschiedener Anteil akkumuliert in der Leber, im Fettgewebe und im Gehirn. Ferner besteht hinsichtlich der toxikologischen Relevanz der Stoffwechselprodukte noch weitgehende Unkenntnis. Es besteht der Verdacht, daß Bis-2-Äthylhexylphthalat (DEHP), das mehr als $\frac{1}{4}$ der Weltproduktion an Phthalaten ausmacht, krebserregend ist (Giam et al., 1984; Koch, 1989) und sein in tierischen Organismen wichtigster Metabolit, Mono-(2-Äthylhexyl)phthalat (MEHP) die menschliche Reproduktionsfähigkeit stören könnte (Stahlschmidt-Allner et al., 1997). Über östrogene Aktivität von Dibutyl- und Benzylbutylphthalat wurde in neuerer Zeit berichtet (HHS, 1993; Soto et al., 1995). Phthalsäureester stellen als Weichmacher einen Hauptbestandteil der Kunststoffe dar (50–67% von PVC-Produkten). Ihre Produktion beträgt global mehrere Mio. t Jahr⁻¹ (2 kg pro Kopf und Jahr in den

USA). Der Ferntransport erfolgt hydrosphärisch und zu einem erheblichen Teil auch atmosphärisch.

5.3.2

Gegenwärtiger Umgang mit dem Risiko

Die einzigen Spurenstoffe, die bislang einer weltweiten Regulierung unterliegen, sind die ozonschädigenden Stoffe. In Kap. 19 der AGENDA 21, das dem umweltverträglichen Umgang mit giftigen Chemikalien gewidmet ist, wird eine globale Kooperation zur Kontrolle gefährlicher, ferntransportierter Xenobiotika gefordert. Regionale Brennpunkte von Verschmutzungen aquatischer Ökosysteme haben bereits zu internationaler Zusammenarbeit geführt, so im Gebiet der Großen Seen Nordamerikas (Canada-USA Great Lakes Water Quality Agreement), in der Ostsee (Convention on the Protection of the Marine Environment of the Baltic Sea Area, „Helsinki-Abkommen“, 1992, noch nicht in Kraft getreten) im Nordostatlantik (Convention for the Protection of the North-East Atlantic, „Oslo-Paris-Konvention“, 1992, noch nicht in Kraft getreten) und im Mittelmeer (Convention for the Protection of the Marine Environment and the Coastal Region of the Mediterranean, „Barcelona-Konvention“, 1995, noch nicht in Kraft getreten). Hierbei wurden Verpflichtungen zur Rückführung der Konzentrationen nicht näher benannter, persistenter und bioakkumulierender Stoffe auf unschädliche Niveaus für das Jahr 2000 (Nordostatlantik) bzw. 2005 (Mittelmeer) vereinbart.

Nach jüngsten Regelungen auf multinationaler Ebene, wie etwa dem Ende Juni 1998 verabschiedeten POP-Protokoll zum Genfer Luftreinhalteübereinkommen der UN-Wirtschaftskommission für Europa (UN-ECE) („Protokoll von Aarhus“), das auf Europa und Nordamerika beschränkt ist, soll nun ein globales POP-Abkommen beschlossen werden. Dies wurde von den auf der Washington-Konferenz über landseitige Meeresverschmutzung von 1995 versammelten Staatenvertretern gefordert. UNEP hat 1997 einen Bericht und Empfehlungen des Zwischenstaatlichen Forums für Chemikaliensicherheit (Intergovernmental Forum on Chemical Safety, IFCS) zum Handlungsbedarf bei persistenten organischen Stoffen angenommen. Der Beschluß zur Einrichtung des IFCS wurde 1994 von 130 Staaten getragen. Damit wird letztlich die bislang EU- und OECD-weite (dort nicht rechtsverbindliche) Chemiepolitik auf alle Staaten ausgeweitet. Das IFCS hat die Aufgabe, 6 der in Kap. 19 der AGENDA 21 aufgeführten Schwerpunkte zu bearbeiten:

- Ausweitung und Verstärkung der internationalen Risikobewertung von Chemikalien,
- Harmonisierung der Einstufung und Kennzeich-

- Informationsaustausch über Gefahrstoffe und deren Risiken,
- Aufbau von Programmen der Risikoreduzierung,
- Verstärkung der nationalen Möglichkeiten und
- Kapazitäten für eine umweltgerechte Chemiewirtschaft und Vermeidung des illegalen Transports von toxischen und gefährlichen Produkten.

Diese Aktivitäten beinhalten starke Elemente von capacity building, z. B. Informationspflichten und den PIC-Grundsatz (Kap. F 6). Das IFCS betreibt den Agendaprozess gemeinsam mit internationalen Organisationen (OECD, WHO, ILO, FAO, UNEP, UNIDO und UNITAR) und NRO (gruppiert in Industrie, Gewerkschaften, Naturschutz/Verbraucher und Wissenschaft). Die NRO sind im gesamten Verfahren und von Anfang an mit Rederecht beteiligt (IFCS, 1997).

Im Juni 1998 trat erstmals ein zwischenstaatlicher Verhandlungsausschuss zusammen, der eine rechtsverbindliche Konvention zum Schutz von Mensch und Umwelt vor POPs vorbereiten soll. Die Liste der vom UNEP als vordringlich betrachteten POPs, die mit der Konvention geregelt werden sollen, umfasst 12 Stoffgruppen (das sog. „schmutzige Dutzend“): 9 Pestizide (Aldrin, Chlordan, DDT, Dieldrin, Endrin, HCB, Heptachlor, Mirex, Toxaphen – mehrere 100 Einzelverbindungen), polychlorierte Biphenyle (PCB, 209 Einzelverbindungen) und die polychlorierten Dibenzo-*p*-Dioxine und -Furane (PCDD und PCDF – 75 bzw. 135 Einzelverbindungen). Die Anwendung der oben aufgeführten Pestizide ist bereits in vielen Staaten verboten oder stark eingeschränkt, darunter in den meisten Industriestaaten. Die Pro-

duktion der PCB ist sogar bereits in allen Staaten verboten. Global gehen Produktion, Anwendung und Emission seit den 70er Jahren vermutlich zurück. Internationaler Handel und Gebrauch dieser Pestizide ist jedoch nur unvollständig erfaßt (UNEP, 1996). Ein Ergebnis der ersten Verhandlungsrunde ist die Einsetzung einer Expertengruppe, die Kriterien und Verfahren für die Aufnahme weiterer POPs in den Vertrag entwickeln soll. Zu den Stoffen mit hohem Handlungsbedarf gehören auch solche, die derzeit in den Industrieländern produziert und genutzt werden.

Die Vorbereitungen zur POP-Konvention wurden durch die Verhandlungen zur PIC-Konvention über die Verankerung eines rechtlich bindenden PIC-Grundsatzes beeinflusst (prior informed consent, Kap. F 6.3).

5.3.3 Zuordnung zu Risikotypen

Tab. D 5.3-1 zeigt die Bewertung des Risikos von persistenten organischen Verbindungen. Charakteristisch für dieses Risiko ist die Ungewißheit sowohl bezüglich der Eintrittswahrscheinlichkeit als auch bezüglich des Schadensausmaßes. Für beide Kategorien gibt es zumeist nur Vermutungen. Da POPs lange in den verschiedenen Umweltkompartimenten verweilen, werden sie global verteilt: Sie sind ubiquitär und verursachen mit großer Zeitverzögerung anhaltende Schäden. Das Risiko, das mit der Ausbringung von POPs in die Umwelt eingegangen wird, stellt sich somit als Beispiel für den Typ Pandora dar.

Tabelle D 5.3-1
Anwendung der Kriterien auf das Risiko persistenter organischer Verbindungen. Es gehört zum Risikotyp Pandora. Legende s. Kasten D 2.1-1.
Quelle: WBGU

Kriterium	Eigenschaften				
	Gering	Eher gering	Eher hoch	Hoch	Ungewiß
Eintrittswahrscheinlichkeit <i>W</i>					■
Abschätzungssicherheit von <i>W</i>					■
Schadensausmaß <i>A</i>					■
Abschätzungssicherheit von <i>A</i>					■
Ubiquität					□
Persistenz					□
Irreversibilität					□
Verzögerungswirkung					□
Mobilisierungspotential					□

Angesichts der möglichen Schäden für menschliche Gesundheit, tierische Organismen und Ökosysteme ist das Mobilisierungspotential, etwa verglichen mit der Wahrnehmung des Klimarisikos, gering. Die Verhandlungen zur POP-Konvention finden nur wenig Interesse in der Öffentlichkeit.

5.4

Endokrin wirksame Stoffe

Das Beratungsergebnis einer interdisziplinären Wissenschaftlergruppe, das sog. Wingspread Consensus Statement, entfachte 1991 in den USA die Diskussion um endokrin wirksame Stoffe. Die Wissenschaftler stimmten darin überein, daß viele in der Umwelt vorkommende Stoffe möglicherweise in der Lage sind, das innere Sekretionssystem von Mensch und Tier und damit Gesundheit und Umwelt negativ zu beeinflussen.

Stoffe mit hormonellem Potential umfassen Pflanzenschutzmittel, Pharmaka, PCB, Zusatzstoffe zu Kunststoffprodukten und organische Metallverbindungen, aber auch natürliche, z. B. in Pflanzen enthaltene Phytoöstrogene. Sie werden aus verschiedensten Quellen emittiert, wie z. B. Landwirtschaft, Industrie, Autoverkehr oder Schutzanstrichen von Schiffen. Viele dieser Stoffe sind inzwischen ubiquitär anzutreffen und wegen anderer schädlicher Wirkungen bekannt. Viele Endokrine gehören zu der Gruppe der POP.

Charakterisierung des Risikos – Wirkung auf den Menschen

Beim Menschen werden eine mögliche Verursachung von Karzinomen, Mißbildungen, reduzierte Spermienproduktion, Störungen der kindlichen Gehirnentwicklung und Einflüsse auf die Geschlechtsorgane durch hormonell wirksame Chemikalien teilweise sehr kontrovers diskutiert. Die größte Aufmerksamkeit erfahren z. Z. mögliche Wirkungen auf das reproduktive System, insbesondere durch Östrogene, die im folgenden im Vordergrund stehen sollen. Keine dieser Wirkungen gilt z. Z. als ursächlich epidemiologisch nachgewiesen. Zwar liegt es anhand der Ergebnisse aus Kultur- und Tierversuchen nahe, auch beim Menschen von einer Wirkung auszugehen, doch ist die Übertragung der Befunde problematisch, zumal bislang die Dosis-Wirkungs-Beziehung kaum einer Substanz geklärt ist.

Die Validität und Reproduzierbarkeit mancher Befunde sind zweifelhaft, was z. B. durch in letzter Zeit wiederholt aufgetretene Widerrufung tierexperimenteller Ergebnisse deutlich wird (Arnold et al., 1996; Sharpe et al., 1998). Neben Tierexperimenten sind Erkenntnisse zur Wirkung beim Menschen in er-

ster Linie durch sorgfältige epidemiologische Studien zu gewinnen. Expositionen am Arbeitsplatz und nach Chemieunfällen können hier die wahrscheinlich wichtigsten Beiträge leisten. Aber auch derartige Studien liefern keine Beweise, solange nicht zahlreiche andere Variablen kontrolliert worden sind. Zu den grundsätzlichen Schwierigkeiten in der Beweisführung kausaler Zusammenhänge kommt hinzu, daß es sich bei den potentiell endokrin wirksamen Stoffen oft um Stoffgemische mit häufig gegensätzlichen oder additiven Wirkungen handelt.

Die Bundesregierung kommt in ihrer Antwort auf die Große Anfrage der SPD („Hormonelle Risiken und Nebenwirkungen von Chemikalien“), die sich u. a. auf eine Studie der DFG über hormonell aktive Stoffe in Lebensmitteln (DFG, 1998) stützt, zu dem Schluß, daß die überwiegende Zahl der Befunde gegen die Vermutung spricht, mit Nahrung oder Trinkwasser aufgenommene Chemikalien führten aufgrund ihrer hormonartigen Wirkung zu einer Gefährdung. Andererseits gibt es nach Einschätzung von Experten z. Z. neben der Östrogenhypothese für die Zunahme von Hodenkrebs und die immer wieder vermutete Abnahme der Spermienqualität bei Männern keine überzeugende Alternativhypothese.

Einige Wissenschaftler vermuten eine umgekehrt U-förmige Dosis-Wirkungs-Beziehung endokrin wirksamer Stoffe. Aus der Pharmazie ist der Effekt, daß die Wirkung einer Substanz bei zunehmender Konzentration zunächst steigt und anschließend wieder abnimmt, durchaus bekannt. Dies konnte z. B. für DES (Diäthylstilböstrol) gezeigt werden. Sollte sich herausstellen, daß eine solche nicht-monotone Dosis-Wirkungs-Beziehung auch für weitere Substanzen zutrifft, wären für eine Stoffbewertung die bisher vorliegenden Versuchsergebnisse mit Konzentrationen im Bereich der Wirkungsabnahme fragwürdig. Neue Testansätze und Managementstrategien wären erforderlich.

Wirkung in der Umwelt

Die vermuteten Wirkungen endokrin wirksamer Stoffe auf Tiere umfassen Verhaltens- und Fertilitätsstörung, Verweiblichung und die Zunahme von Erkrankungen. Bei verschiedenen Fischarten konnten bei Jungtieren und Männchen die Bildung der Vorstufe eines Eidotterproteins (Vitellogenin) sowie Reproduktionsstörungen durch hormonell wirksame Stoffe gezeigt werden (Karbe, 1997). Die Vermännlichung weiblicher Tiere durch Tributylzinn (TBT) ist inzwischen an über 110 marinen Weichtieren nachgewiesen (Oehlmann et al., 1995). Defekte der Eischalen und Reproduktionsstörungen durch DDT bei Vögeln sind bereits aus den 60er Jahren bekannt. Vögel, deren Nahrung aus kontaminiertem Fisch be-

stand, entwickelten anormale Verhaltensweisen (Fox et al., 1978).

Es ist derzeit kaum möglich, abschließend zu beurteilen, ob die Summe der Einzelbefunde rechtfertigt, auf eine nennenswerte Beteiligung endokrin wirksamer Stoffe an Problemen des Globalen Wandels wie der Bedrohung der Biodiversität und der Degradation natürlicher Lebensräume zu schließen. Bisher konnten nur in wenigen Fällen deutliche Ursache-Wirkungs-Beziehungen zwischen bestimmten endokrin wirksamen Stoffen und Schäden in der Umwelt hergestellt werden. Zu den Stoffen mit relativ gesicherter Wirkung gehören TBT, Oktyl- und Nonylphenol sowie Bisphenol, deren Emissionsreduktion in vielen Staaten eingeleitet wurde oder demnächst erfolgen soll.

Umgang mit dem Risiko und Zuordnung zum Risikotyp Pandora

Octyl- und Nonylphenole sind Abbauprodukte der Alkylphenolethoxylate (APEOs), die weltweit in vielen Produktgruppen, u. a. in Reinigungsmitteln, verwendet werden. In Deutschland haben sich die zuständigen Industriefachverbände freiwillig verpflichtet, auf den Einsatz von APEOs in Wasch- und Reinigungsmitteln ab 1986 zu verzichten. 1989 hat die Europäische Gemeinschaft das Verbot von TBT für Schiffe unter 25 m Länge in einer Richtlinie übernommen. Mittlerweile gilt das Verbot TBT-haltiger Antifoulingfarben für Boote einer Länge unter 25 m in fast ganz Europa, Nordamerika, Australien und Fernost. Ein komplettes Verbot von Organozinnverbindungen als Antifoulinganstrich wurde in der Schweiz und Neuseeland bereits durchgesetzt.

Über Schadensausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit lassen sich beim Risiko anthropogen emittierter endokrin wirksamer Stoffe häufig nur Vermutungen anstellen. Wegen der Vielzahl der verdächtigen Stoffe, der meist unzureichenden Datenlage zum Vorkommen und Verhalten in Umwelt und Organismen und wegen der zumeist ungeklärten Dosis-Wirkungs-Beziehungen, möglichen synergistischen Wirkungen und einer potentiellen Latenzzeit zwischen Ursache und Wirkung kann für Risiken durch endokrin wirksame Stoffe eine endgültige Bewertung noch nicht erfolgen. Konkrete Forschungsempfehlungen wurden u. a. in einer Studie des UBA erarbeitet (Gülden et al., 1997). Die hohe Ungewißheit von Schadensausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit rechtfertigt eine Zuordnung zum Risikotyp Pandora. Viele endokrin wirksamen Stoffe gehören zur Gruppe der persistenten organischen Schadstoffe, deren Risiko ebenfalls diesem Risikotyp zugeordnet wurde.

Durch Anwendung des Vorsorgeprinzips in der Konvention zum Schutz der Meeresumwelt des

Nordostatlantiks (OSPAR, Art. 2) haben die Unterzeichnerstaaten 1992 auch neuen Risiken mit hoher Ungewißheit Rechnung getragen. Die Bundesregierung verfolgt bereits seit 1982 das Vorsorgeprinzip (BverwG, 1985; Leitlinien der Bundesregierung zur Umweltvorsorge durch Vermeidung und stufenweise Verminderung von Schadstoffen, 1986). Es ist denkbar, daß sich das Risiko endokrin wirksamer Stoffe in Zukunft ganz oder teilweise durch Wissenszuwachs oder Vorsorgemaßnahmen in den Normalbereich hineinbewegt. In diesem Fall könnte auf weitere Vorsorgemaßnahmen verzichtet werden. Derzeit wäre eine solche Entwarnung verfrüht.

6 Klimarisiken

6.1 Einleitung

Klimavariabilität und Klimawandel: Eigenschaften

Das Klima wird von den physikalischen Prozessen der Atmosphäre, die das Wetter ausmachen, ebenso beeinflusst, wie durch die Speicherung und den Transport von Energie und Stoffen (etwa Kohlendioxid) im Ozean, durch die Änderungen der Schnee- und Eisbedingungen in der Kryosphäre und durch die biologischen und chemischen Kreisläufe, die die Verteilung der treibhauswirksamen Gase im globalen Klimasystem mitbestimmen. Schließlich können auch noch langsamere Veränderungen der Lithosphäre hinzugezählt werden, soweit sie in die energetischen und chemischen Zyklen eingreifen. Klimaprozesse sind zwar beschreibbar (nämlich durch Bilanzen von Massen, Energie und Impuls), können aber nur eingeschränkt vorhergesagt werden. Insbesondere sind die Klimaparameter nicht durch Durchschnittswerte, etwa einen mittleren Zustand und dessen zeitlichen Verlauf, hinreichend charakterisierbar. Die Variabilität der Klimaphänomene umfaßt Zeitskalen von Sekunden bis Jahrtausenden, darunter dem Menschen schon seit langem bewußte interannuelle Fluktuationen, wie die Perioden sintflutartigen Regens oder die 7 dürren und fetten Jahre (Noah- oder Joseph-Rauschen). Auch die räumlichen Auswirkungen des Klimas können von lokalen Ereignissen (Starkregen, Tornados usw.) bis hin zu großräumigen Veränderungen der Muster atmosphärisch-ozeanischer Zirkulationen nahezu alle Skalen umfassen.

Die Emission von Stoffen in die Atmosphäre birgt dann die Gefahr der Störung des Klimasystems, wenn diese strahlungswirksam werden. Sogenannte Treibhausgase lassen zwar kurzweilige Sonnenstrahlung durch, absorbieren jedoch die längerwellige Wärmestrahlung der Erde und führen dadurch zu einer Erwärmung. Eine andere Störung der Strahlungsbilanz wird durch Gase hervorgerufen, die zur Bildung von Aerosolpartikeln führen. Diese streuen

die Sonnenstrahlung und wirken deshalb vorwiegend abkühlend, in manchen Fällen aber auch erwärmend.

Die damit hervorgerufenen Störungen des Wärmehaushalts mögen von den Größenordnungen her als relativ klein erscheinen, ihre Wirkungen können jedoch aufgrund der nichtlinearen Kopplung in Form von Verstärkungs- und Rückkopplungsmechanismen weitreichende Veränderungen des Klimas hervorrufen.

Klimavariabilität und Klimawandel: Risiken
Wegen der natürlichen Klimavariabilität treten extreme Wetterlagen auf, die mit Risiken für Ökosysteme, Landwirtschaft und Infrastruktur verbunden sind: Stürme, Überflutungen, Dürren und Flächenbrände können örtlich mit sehr unterschiedlicher Eintrittswahrscheinlichkeit enorme Schäden hervorrufen. Ihre Vorhersagbarkeit ist wegen unseres noch lückenhaften Verständnisses der natürlichen Klimavariabilität nur sehr begrenzt.

Kommt es darüber hinaus zu einem Klimawandel, drohen weitere Risiken: Die regionalen Wettererscheinungen können sich graduell verschieben und/oder ihre Statistik kann sich qualitativ verändern. Das Auftreten neuer, bislang vor Ort unbekannter Extreme wäre ein Zeichen für die letztgenannte Art von Klimaveränderungen, dem Klimawandel. Mögliche Schäden können Ausmaße bis hin zum Entzug der Lebensgrundlagen für den Menschen und die klimatisch angepaßte Biosphäre annehmen.

Eine schleichende Klimaänderung, beispielsweise in Form einer längerfristigen Verschiebung von Klimazonen, muß nicht in jedem Fall problematisch sein. Ob eine Anpassung von Mensch und Umwelt möglich ist, hängt entscheidend von der Geschwindigkeit der Veränderung ab. Die Emission von Treibhausgasen durch den Menschen führt zu einer globalen Erwärmung in einer Geschwindigkeit, die während der letzten 10.000 Jahre nicht aufgetreten ist (IPCC, 1996a). Anfällig gegenüber einer solchen Klimaänderung sind im allgemeinen Ökosysteme in geografisch engen Grenzen und solche, die nahe am Rand ihrer Nische existieren, also z. B. in

Regionen, wo disponierende Faktoren einer großen räumlichen Variabilität unterliegen. Solche sind marine und terrestrische Ökosysteme in Küstengebieten, unangepaßt bewirtschaftete Agrarökosysteme und Waldökosysteme nahe der Waldgrenzen in hohen Breiten oder im Gebirge (IPCC, 1996b; IPCC, 1998). Ein weiteres Risiko entsteht bei Verschiebung oder Ausbreitung von Klimazonen durch klimatisch angepaßte Schädlinge oder Überträger von Krankheiten, deren Lebensraum sich erweitert und die aufgrund der Artenzusammensetzung hohe Wettbewerbsvorteile erhalten.

Wegen der nichtlinearen Wechselwirkungen im komplexen Klimasystem kann die menschliche Beeinflussung des Klimas neben einer schleichenden Veränderung auch zu plötzlichen dramatischen Umschwüngen führen, etwa durch das Versiegen von Meeresströmungen, die das Klima einer Region bestimmen, oder durch starke positive Rückkopplungen, wie etwa die plötzliche Freisetzung großer Mengen von Treibhausgasen durch die Erwärmung von Permafrostböden.

Der anthropogene Klimawandel ist ein Kernproblem des Globalen Wandels mit bereits heute erkennbaren Auswirkungen im globalen Maßstab. Mit Klima- und Wetterphänomenen verbundene Risiken, die nach unserem Kenntnisstand in diesem Zusammenhang gesehen werden müssen, oder wofür zumindest starke Verdachtsmomente vorliegen, sind hier relevant. Andere Erscheinungen, die nicht mit dem anthropogen induzierten Klimawandel im Zusammenhang stehen, sind dann globale Umweltrisiken, wenn sie als Extreme der Klimavariabilität auf der globalen Skala in Erscheinung treten. Nur für diese sind Anpassungs- und Vermeidungsstrategien auf supranationaler Ebene adäquat.

In diesem Kapitel werden zunächst Risiken charakterisiert, die mit der natürlichen Klimavariabilität (Kap. D 6.2.1) verbunden sind, sofern sie wegen des Ausmaßes und der Reichweite der Schäden global relevant sind. Dazu gehören die Risiken, die mit einer nicht an natürliche Wetterschwankungen angepaßten Landwirtschaft einhergehen, sowie das El-Niño-Phänomen. Anschließend wird der anthropogene Klimawandel diskutiert (Kap. D 6.2.2), der eines der Kernprobleme des Globalen Wandels darstellt und eine Vielfalt von Risiken mit sich bringt. Sowohl eine schleichende Klimaänderung (Kap. D 6.2.2.1) als auch die Gefahr, plötzliche Klimaschwünge auszulösen (Kap. D 6.2.2.2), werden behandelt. Der derzeitige Umgang mit diesen Risiken ist wesentlich durch international koordinierte Forschungsanstrengungen sowie das Rahmenabkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (Klimarahmenkonvention) bestimmt (Kap. D 6.3.1). Für den Umgang mit den Risiken einer an-

thropogenen Klimaänderung liefert die wissenschaftliche Diskussion neue Erkenntnisse und Anregungen zur Risikoanalyse und zum Risikomanagement (Kap. D 6.3.2). Der Beirat greift seinen bereits mehrfach vorgelegten Vorschlag wieder auf, das Problem mit dem methodischen Konzept der „Toleranzfenster“ anzugehen (Kap. D 6.3.2). Abschließend wird der Versuch unternommen, die verschiedenen, mit der Veränderlichkeit des Klimasystems verbundenen Risiken den Risikotypen zuzuordnen (Kap. D 6.4).

6.2 Risikophänomenologie und Schadenspotential

6.2.1 Natürliche Klimavariabilität und Extreme

Im folgenden werden Risiken beschrieben, die mit einer nicht an natürliche Wetterschwankungen angepaßten Landwirtschaft verbunden sind, sowie das El-Niño-Phänomen als Beispiel für ein globales Muster der natürlichen Klimavariabilität.

Agrarökosysteme

Klimarisiken entstehen v. a. bei Agrarökosystemen, die eng an Klima und Böden angepaßt sind sowie bei der Ausweitung von Anbaugebieten in Regionen, die klimatisch für die anzubauenden Pflanzen marginal, d. h. wenig geeignet sind. Ernteverluste können dann durch Frost, Hitze oder Trockenheit ausgelöst werden. In Regionen mit gemäßigttem Klima können Frostereignisse die landwirtschaftliche Produktion stören. An den Winterfrost sind die Pflanzen meist gut angepaßt, doch Frostwechselftage und Spätfröste können erheblichen Schaden anrichten. Im Obstbau kann ein einziges Spätfrostereignis z. Z. der Obstblüte den Fruchtertrag 1 Jahr stark reduzieren. Trockenheit ist ein gut untersuchter landwirtschaftlicher Produktionsfaktor. In einem saisonalen Klima besteht für die Bauern das Risiko, daß die Niederschläge nicht ausreichen, um das Getreide z. Z. der Frucht reife mit Wasser zu versorgen. Bewässerungskulturen vermindern dieses kurzfristige Risiko. Da die Bewässerung aber zur Sicherstellung der Frucht reife in der warmen Jahreszeit oder für eine zweite Ernte eingesetzt wird, steigt das längerfristige Risiko der Versalzung der Böden (WBGU, 1994).

Das weltweite Bevölkerungswachstum wird in Zukunft den Bedarf an Nahrungsmitteln erheblich steigern. In den letzten Jahrzehnten eilte der Zuwachs der Weltgetreideproduktion dem der Weltbevölkerung um 15% voraus (Gregory et al., 1998; FAO, 1998), so daß – abgesehen von dem regionalen

Verteilungsproblem – die Situation sich im globalen Mittel nicht verschärft hat. Diese Situation kann sich durchaus ändern, wenn die Nahrungsmittelproduktion in Zukunft nicht im gleichen Maß wie die Bevölkerung wächst; eine derartige Trendwende ist bereits abzusehen (Gregory et al., 1998). In diesem Fall können bereits in etwa 20 Jahren die natürlichen Klimaschwankungen zu einem globalen Ernährungsrisiko führen (Kap. E 3.2).

Mit zunehmender Ausrichtung der Landwirtschaft auf die Maximierung von Ernteerträgen schränken sich die Handlungsmöglichkeiten gegenüber Schädlingen und Klimastreß zunehmend ein (abnehmende Resistenz). Pflanzen stellen einen in sich koordinierten Organismus dar. Einseitige Veränderungen des Stoffwechsels (wie z. B. die Förderung des Assimilatentransports in die Samen) reduzieren zwangsläufig eine Reihe anderer Stoffwechselwege (z. B. die Bildung von Sekundärstoffen wie Phenole). Die Folge ist, daß mit steigenden Hektarerträgen das Risiko von Ernteverlusten durch Schädlinge oder extreme Wetterlagen steigt (Chapin et al., 1990; Marschner, 1990; WBGU, 1998a). Das globale Ernährungsrisiko wird weiter verschärft, wenn die Landwirtschaft nicht gut an die gegenwärtige natürliche Klimavariabilität angepaßt ist, denn sie ist dann auch stärker für die menschlich verursachte Klimaänderung anfällig (Kap. D 6.2.2.1; IPCC, 1998).

El Niño

Das El-Niño/Southern-Oscillation-Phänomen (ENSO) ist ein gutes Beispiel für die regionalen Risiken, die aus der natürlichen Variabilität des globalen Klimas erwachsen. ENSO bezeichnet eine Veränderung der Dynamik des gekoppelten Ozean-Atmosphäre-Systems im äquatorialen Pazifik. Normalerweise ist das Klima im östlichen äquatorialen Pazifik durch eine kalte Meeresströmung sowie hohen Luftdruck und wenig Niederschläge bestimmt, während im westlichen tropischen Pazifik die Meeresoberfläche sehr warm und der Luftdruck niedrig sind. Hier treten in der Regel hohe Niederschläge auf. Etwa alle 2–7 Jahre dreht sich dieses Muster um: Die Zone der warmen Meeresoberfläche, verbunden mit niedrigem Luftdruck und hohem Niederschlag, wandert ostwärts, der östliche Pazifik wird warm und regnerisch und die kalte Meeresströmung vor der südamerikanischen Küste wird durch eine warme ersetzt. Diese Veränderung des Klimamusters hat überregionale Auswirkungen auf das Klima fast aller Erdteile. Typische Erscheinungen sind Überschwemmungen in Mittel- und Südamerika, Trockenheiten in Südostasien und in Teilen von Australien und dem südlichen Afrika sowie verstärkte Niederschläge und eine erhöhte Hurrikanfrequenz an der Pazifikküste Nord-

amerikas. In El-Niño-Jahren brechen die Erträge der Fischerei vor der Küste Perus drastisch ein.

Die interne Dynamik des gekoppelten Systems Ozean-Atmosphäre bewirkt das Auftreten von El Niño und auch dessen Verschwinden, letzteres verbunden mit einem kühleren Ozean (La Niña) und einer umgekehrt polarisierten Verteilung der Zentren hohen und niedrigen Luftdrucks (Southern Oscillation). Dies geschieht normalerweise in einem Abstand von 2–7 Jahren, in den letzten Jahrzehnten haben sich die Abstände auf 3–4 Jahre verkürzt. Der Grund hierfür könnte in einer Überlagerung einer internen, mehrjährigen Dynamik durch die dekadische Klimavariabilität liegen (Latif et al., 1997). In den 90er Jahren ist eine außergewöhnliche Häufung der El-Niño-Ereignisse zu beobachten. Eine anthropogene Beeinflussung der ENSO-Dynamik ist zwar nicht nachweisbar, kann aber zum gegenwärtigen Zeitpunkt auch nicht ausgeschlossen werden.

Der vor 1997 stärkste El Niño dieses Jahrhunderts (1982/83) verursachte oder verstärkte Dürren in Australien und dem Sahel und hatte ausgedehnte Buschfeuer in Australien und untypische Wetterlagen in Südasien und Nordamerika zur Folge. Die dadurch entstandenen Verluste wurden auf ca. 2.000 Menschenleben und 8–13 Mrd. US-\$ an Sachwerten (Ernteeinbußen und Katastrophenschäden) geschätzt. Das ENSO-Ereignis von 1997/1998 wirkte sich sogar noch stärker auf Südostasien, Australien, Mittel- und Südamerika sowie Afrika aus. In den meisten Regionen zeigten sich abnorm geringe Niederschläge, in Teilen Südostasiens nur 25% des langjährigen Werts, während in anderen Regionen, z. B. in Ecuador und Peru, außergewöhnlich hohe Niederschlagsmengen beobachtet wurden.

Ein El Niño läßt sich durch menschliche Maßnahmen weder verhindern noch steuern, aber die Klimaforschung hat mit der erstmaligen korrekten Vorhersage des El-Niño-Ereignisses 1997/1998 einen großen Erfolg erzielen können (Kap. D 6.3.1). Weitere Erfolge in der ENSO-Vorhersage können zu einer Begrenzung des Risikos für die betroffenen Gebiete führen.

6.2.2

Anthropogener Klimawandel

Die Strahlungsbilanz der Erde ist so austariert, daß die ungebremste Emission und damit Anreicherung von Treibhausgasen in der Atmosphäre (Kasten D 6.2-1) auf lange Sicht erhebliche Klimaveränderungen unvermeidbar nach sich ziehen würden – mit katastrophalem Schadenspotential für Mensch und Natur in allen Klimazonen. Die in diesem Jahrhundert beobachtete globale Erwärmung der bodennahen

Luft um im Mittel 0,5 °C ist im Vergleich zur Klimageschichte der letzten Jahrtausende außergewöhnlich rasch.

Wegen der natürlichen Klimavariabilität läßt sich nur schwer nachweisen, ob der Mensch diese beobachtete Klimaänderung mit verursacht hat. Allerdings konnten in den letzten Jahren die Methoden zum Nachweis eines „menschlichen Fingerabdrucks“ im beobachteten Klimawandel deutlich verbessert werden. Sie beruhen auf einem Vergleich von gemessenen räumlichen Mustern der zeitlichen Entwicklung des Klimasystems mit gerechneten Simulationen von Klimamodellen. Der anthropogene Klimawandel gilt als statistisch nachgewiesen, wenn es äußerst unwahrscheinlich ist, daß sich diese Muster durch die natürliche Klimavariabilität erklären lassen. Durch das komplexe Zusammenwirken dreier menschlicher Einflüsse (Ausstoß von Treibhausgasen, Ausdünnung der Ozonschicht und Emission von Aerosolen) können heute einige räumlichen Muster der beobachteten Temperaturänderung befriedigend erklärt werden (WBGU, 1998a). Unter Berücksichtigung möglicher Fehlerquellen wie der Defizite in den Klimamodellen, der unvollständigen Kenntnis der einzelnen zivilisatorischen Beiträge sowie teilweise fehlerhafter oder heterogener Meßdaten kommt der zweite Sachstandsbericht des IPCC zu dem Schluß, die „Abwägung der Erkenntnisse“ lege „einen erkennbaren menschlichen Einfluß auf das globale Klima nahe“ (IPCC, 1996a). Diese Wahrscheinlichkeit wurde auf 95% geschätzt (Hegerl et al., 1997) – eine Zahl, die noch als unsicher eingestuft werden muß: Die für den Vergleich zwischen (modellgestützter) erwarteter und beobachteter Entwicklung zugrundegelegten Datensätze sind lückenhaft und zeitlich nicht lang genug, um das anthropogene Signal gegenüber allen, auch den längsten der natürlichen Zyklen und Dynamiken zweifelsfrei isolieren zu können.

Es ist zu erwarten, daß mit einer globalen Erwärmung Wetterextreme zunehmen werden (IPCC, 1996a). Derartige Trends sind in unterschiedlichen Regionen jedoch nicht einheitlich beobachtbar, so daß bislang nicht von einer globalen Zunahme von Wetterextremen gesprochen werden kann (IPCC, 1996a).

Der Meeresspiegel wird aller Voraussicht nach in Zukunft weiter steigen. Projektionen für die kommenden 100 Jahre für das Szenario ungebremster Treibhausgasemissionen gehen von einem Meeresspiegelanstieg von 15–95 cm aus (IPCC, 1996a). Den größten Beitrag zum erwarteten Meeresspiegelanstieg liefern die thermische Ausdehnung des Wassers und das Abschmelzen von Gletschern. Große Unsicherheit besteht derzeit noch bezüglich der Massenbilanzen der großen polaren Eisschilde (IPCC, 1996a). Die meisten Projektionen gehen von einer

negativen Massenbilanz für Grönland und einer Anreicherung von Inlandeis in der Antarktis aus. Allerdings besteht auch die Möglichkeit, daß die westantarktischen Eisschilde instabil werden. Ihr Zusammenbruch würde zu einem dramatischen Meeresspiegelanstieg führen, der weit über den oben angegebenen Projektionen liegen und Millionen von Menschen in den dicht besiedelten Küstenregionen bedrohen würde (IPCC, 1996b). Es wird geschätzt, daß schon jetzt statistisch jedes Jahr 46 Mio. Menschen einer Sturmflut ausgesetzt sind. Bei einem Meeresspiegelanstieg von 50 cm könnte sich diese Zahl auf 92 Mio. Menschen verdoppeln, bei einem Meeresspiegelanstieg von 1 m nahezu verdreifachen auf dann 118 Mio. Menschen (IPCC, 1996b; WBGU, 1998a).

6.2.2.1

Verwundbare Regionen

Extremwetterereignisse und Verschiebungen von Niederschlags- und Temperaturverläufen bergen hohe Schadenspotentiale für klimatisch vulnerable Räume. Hier sind die Risiken z. B. durch Klimasensibilität und mangelnde Anpassungsfähigkeit deutlich erhöht. Welche entscheidenden Größen lassen sich zur Diagnose und Analyse von klimatisch vulnerablen Gebieten heranziehen? Lassen sich für diese Regionen möglicherweise sogar Strategien formulieren, die ihre Klimarobustheit steigern könnten?

Viele Entwicklungsländer gelten als besonders anfällig für den Klimawandel. Gründe hierfür sind die häufig ungünstigen Umweltbedingungen und fehlenden gesellschaftlichen Ausgleichspotentiale. Viele Länder sind bereits jetzt mit der Anpassung an die natürliche Klimavariabilität überfordert (IPCC, 1998). Afrika wird als der für Klimaänderungen anfälligste Kontinent bezeichnet, da dort die Anpassungsmöglichkeiten besonders gering sind.

Gebirgs- und Küstenregionen, marginale Agrarökosysteme

Gebirgszonen gelten aufgrund ihrer Naturraumstruktur als besonders empfindlich. Ihre komplexe Geländemorphologie, marginale Böden und eine geringere Ökosystemstabilität machen sie für Klimafolgeschäden anfällig, was durch nicht angepaßte Nutzungen noch verstärkt wird. Winter- und Sommertourismus, nicht angepaßte Landwirtschaft oder infrastrukturelle Erschließung können die auslösenden Faktoren für Gefährdungen mit z. T. irreversiblen Schäden bilden.

Küstenzonen gehören zu den am stärksten besiedelten Gebieten. Da das Schadenspotential für diese Räume als besonders hoch eingeschätzt wird, ist

N₂O aus Böden bei, die durch den Eintrag der luftchemischen Produkte von NO_x- und Ammoniakemissionen stimuliert wird. Auf diese Weise und durch die Rolle, die N₂O zudem beim Abbau stratosphärischen Ozons spielt, verursacht die Emission von Stickoxiden und Ammoniak (NH₃), die samt ihrer luftchemischen Folgeprodukte bereits nach wenigen Tagen aus der Atmosphäre entfernt sind, noch nach mehr als 100 Jahren Störungen der Strahlungsbilanz und der stratosphärischen Ozonschicht (Lammel und Graßl, 1995).

Die Emissionen von SO₂, NO_x (und weiteren Verbrennungsprodukte) sowie von NH₃ verstärken die Aerosolbildung, was den Treibhauseffekt abschwächt. In dieselbe

Richtung wirkt auch der Abbau stratosphärischen Ozons, wobei dieser Effekt entsprechend der geringen Treibhauswirksamkeit des stratosphärischen Ozons eher schwach ausgeprägt ist. Aerosole weisen eine hohe räumliche und zeitliche Variabilität und – in Abhängigkeit ihrer Quellen – unterschiedliche Eigenschaften auf. Weil sie zudem auch indirekt klimawirksam sind, nämlich durch die Beeinflussung von Wolken, kann ihr Treibhauseffekt derzeit noch nicht gut quantifiziert werden (Schwartz, 1996; Lohmann und Feichter, 1997). Dieser liegt im globalen Mittel in der gleichen Größenordnung wie der der Treibhausgase (IPCC, 1996a).

selbst bei nur geringen Wahrscheinlichkeiten für Extremwetterereignisse (Starkstürme, Sturmfluten usw.) das Risiko beträchtlich. Ob die Verwundbarkeit gegenüber Extremwetter noch weiter ansteigt, hängt im wesentlichen von der zukünftigen Nutzung und von der Entwicklung des Meeresspiegels ab.

Klimaänderungen (z. B. erhöhte Temperaturen) können in Verbindung mit erhöhter CO₂-Konzentration und veränderter Stickstoffdeposition zu Veränderungen in den pflanzenphysiologischen Reaktionen von Agrarökosystemen auf Wetterextreme führen (Kap. D 5.1). Das Zusammenwirken von anthropogener Stickstoffdeposition und verringerter Winterkälte kann bei gleichbleibender Spätfrostwahrscheinlichkeit eine erhöhte physiologische Empfindlichkeit hervorrufen. Dadurch kann die Wirkung eines „normalen“ Spätfrosts verstärkt werden. Da fast ¾ der gemäßigten Klimazonen von überhöhten Immissionen betroffen sind, handelt es sich um ein global wachsendes Risiko mit hoher Wahrscheinlichkeit und potentiell sehr großem Schadensausmaß. Die Wirkung kurzzeitiger Eingriffe und Stoffausträge in Folge extremer Wetterlagen (Schneeschmelze, Trockenheit) ist bei solchen Ökosystemen ausgeprägter, die bereits durch anthropogene Stoffflüsse belastet sind. Besonders empfindlich gegenüber Klimaschwankungen sind diejenigen landwirtschaftlichen Betriebe oder Regionen, die sich auf einzelne Kulturpflanzenarten spezialisieren.

6.2.2.2

Meeresströmungen

Das Schwungrad für den planetarischen Wasseraustausch im Ozean ist die thermohaline Zirkulation. Sie ist die Ursache dafür, daß die Wintertemperatur in Europa etwa 5–10 °C höher ist als in Nordamerika oder Asien in vergleichbarer Breite. Dieses Strömungssystem besteht im Atlantischen Ozean aus 3 Ästen: dem Golfstrom, der oberflächennahes, warmes Wasser polwärts transportiert – in der Menge

vergleichbar einem etwa 100fachen Amazonasstrom; dem Absinken kalten, salzreichen und damit dichteren Wassers in der Labrador- und Grönlandsee und dem Tiefenwasser, das dann durch den Atlantik südwärts fließt. Dieses Strömungssystem kann im Nordatlantik abrupt zusammenbrechen, wenn das Nachfluten salzreichen Tiefenwassers ausbleibt. Dazu müßte sich die Dichte des Oberflächenwassers regional nur geringfügig vermindern (Stommel, 1961), was z. B. durch erhöhte Frischwasserzufuhr aus den kontinentalen Abflüssen, Abschmelzen von Gletschern an den Fjorden Grönlands oder durch Niederschlagsänderungen im Gebiet der Zugbahnen der nordatlantischen Zyklone verursacht werden könnte. Umorganisationen der Tiefenwasserneubildung sind in der Vergangenheit beim Übergang zu Warm- wie auch Kaltzeiten wiederholt aufgetreten und haben sehr wahrscheinlich Eiszeiten ausgelöst oder beendet. Auch die letzte Warmzeit in der nordatlantischen Region (Eem) wurde mit einer Übergangszeit von nur wenigen Jahrzehnten durch eine Kaltzeit beendet (Broecker, 1997; de Menocal und Bond, 1997). In Simulationen mit Hilfe von Klimamodellen wurde für den Fall ungebremster Treibhausgasemissionen das Versiegen der großskaligen thermohalinen Zirkulation in Folge der globalen Erwärmung vorhergesagt. Eine dadurch verursachte Veränderung der Frischwasserbilanz spielt in diesem Szenario die Hauptrolle (Maier-Reimer und Mikolajewicz, 1989; Manabe und Stouffer, 1993; Stocker und Schmittner, 1997). Dies würde eine neue Eiszeit für Europa bedeuten: Europas Klima würde sich innerhalb von Dekaden dem Sibiriens oder Kanadas nähern. Dieser mögliche abrupte Kältesturz ist sicherlich einer der größten direkten Risiken des anthropogenen Klimawandels. Unter gegenwärtigen Bedingungen wären die Folgen katastrophal – v. a., wenn man bedenkt, daß Europa auf vergleichbar guten Böden etwa 300 Mio. Menschen ernährt, Kanada aber nur etwa 30 Mio. (Abb. D 6.2-2).

Die gegenwärtigen Modellergebnisse können noch nicht als sicherer Hinweis für eine derartige be-

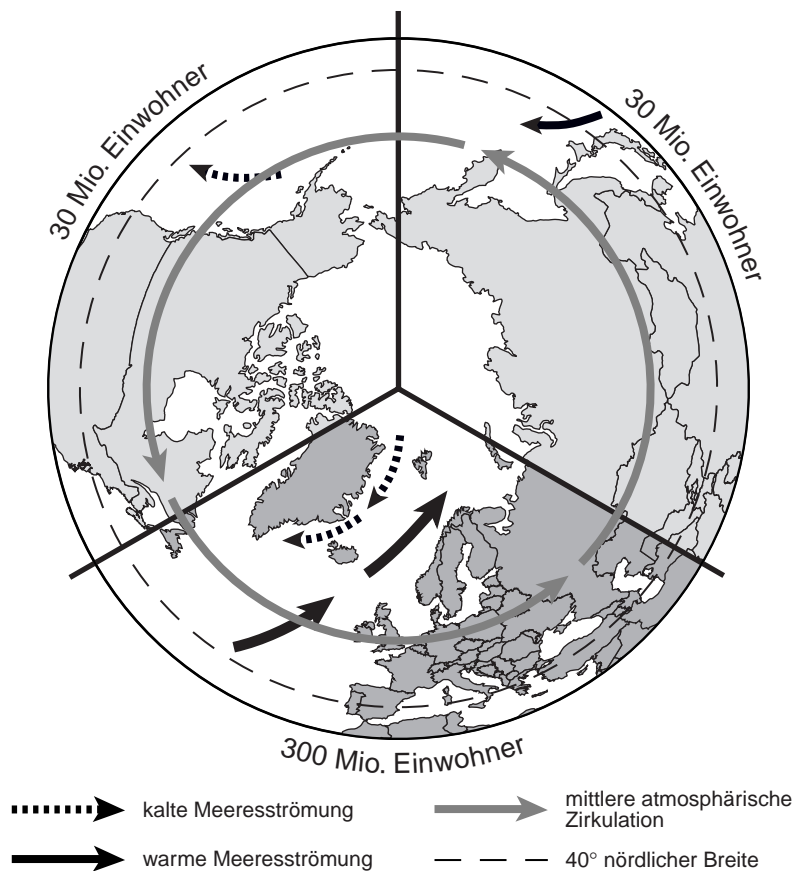


Abbildung D 6.2-2
 Klimatische
 Lebensbedingungen in 3
 Sektoren der
 Nordhalbkugel, nördlich von
 40°N.
 Quelle: nach Krauß und
 Augstein; Augstein, 1991

vorstehende Entwicklung gelten. Die Eintrittswahrscheinlichkeit ist daher nicht bekannt. Als Ausdruck des derzeit bestmöglichen Verständnisses müssen die Ergebnisse aber als begründete und sehr ernst zu nehmende Warnung verstanden werden.

6.3

Derzeitiger Umgang mit dem Risiko des Klimawandels

6.3.1

Klimaforschung und Klimapolitik

Wo menschliche Einflußnahme nicht möglich ist, können extreme Klimaereignisse zwar nicht vermieden, ihre schädlichen Auswirkungen aber, v. a. wenn sie frühzeitig erkannt werden, durch Anpassung abgemildert werden. So gab der El Niño der Jahre 1982/1983 den Anlaß zu einem breit angelegten Forschungsprogramm (Tropical Ocean Global Atmosphere, TOGA, im Rahmen des Weltklimaforschungsprogramms, 1985–1994) mit der Zielsetzung, zu ei-

nem Systemverständnis und zu Früherkennung und Prognosefähigkeit von Einzelereignissen zu gelangen. Als Ergebnis dieser Forschungen existiert heute ein operationelles Beobachtungs- und Vorhersagesystem (NRC, 1996). Die landwirtschaftlichen Dienste vieler Länder setzen ENSO-Vorhersagen (bis zu 12 Monate im voraus) in Empfehlungen um. ENSO-Auswirkungen dominierten 1997/1998 die Weltmärkte einiger wichtiger landwirtschaftlicher Produkte (Getreide, Kaffee, Kakao). Einzelne Märkte reagierten auch schon im Vorfeld drohender Verknappungen (Maispreis in der Südafrikanischen Union im Sommer 1997; Tait und Mead, 1997)

Mit der 1979 von der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) veranstalteten 1. Weltklimakonferenz fand das Risiko eines anthropogenen Klimawandels, das in den 70er Jahren in der Wissenschaft bereits intensiv diskutiert wurde, Aufnahme in die internationale umweltpolitische Agenda (Coenen, 1997). WMO und UNEP etablierten 1988 auf der Grundlage eines Antrags der Generalversammlung der Vereinten Nationen den Zwischenstaatlichen Ausschuß über Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC; Kasten D 6.3-1).

Kasten D 6.3-1**Wissenschaftliche Beratung internationaler Umweltpolitik – das IPCC**

Der Zwischenstaatliche Ausschuss über Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) wurde im Auftrag der UN-Vollversammlung gemeinsam von der Weltmeteorologischen Organisation (WMO) und dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) 1988 eingerichtet.

Aufgabe des IPCC ist es, den Stand des Wissens zum Treibhauseffekt, zu seinen möglichen Auswirkungen und zu politischen Handlungsoptionen darzustellen und zu bewerten. Das IPCC ist jedoch kein rein wissenschaftliches Gremium (Coenen, 1997): Die Plenarsitzungen von Regierungsvertretern verabschieden die Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger sowie die technischen Zusammenfassungen.

Um eine freie und möglichst wissenschaftlich geprägte Meinungsbildung zu ermöglichen, bildete das IPCC 1988 bereits 3 wissenschaftliche Arbeitsgruppen: Analyse des Klimasystems, Abschätzung der Folgen des Klimawandels und Darstellung von Strategien zur Vermeidung und An-

passung (Bolin, 1997). Diese Arbeitsgruppen setzen sich aus Wissenschaftlern zusammen und beziehen eine große Zahl weiterer Experten zur Begutachtung ihrer Berichte ein. Die Aussagen des IPCC beruhen ausschließlich auf veröffentlichter wissenschaftlicher Literatur. Mehr als 300 Wissenschaftler aus 25 Ländern haben den ersten Sachstandsbericht der Arbeitsgruppe für die Analyse des Klimasystems (IPCC, 1990) erarbeitet. Dieser lieferte die wissenschaftlichen Argumente für die Vorbereitung und Verhandlung der Klimarahmenkonvention. Mit dem IPCC steht den Vertragsstaaten der Klimarahmenkonvention ein Instrument zur Seite, das den Erkenntnisfortschritt sichtet, weitestgehend unbeeinflusst von nichtwissenschaftlichen Zwecken bündelt, bewertet und in Form von Sachstandsberichten veröffentlicht. 1996 wurde der 2. Sachstandsbericht vorgelegt (IPCC, 1996a, b, c). Zusätzlich erstellt das IPCC auf Anfrage der Vertragsstaatenkonferenz zur Klimarahmenkonvention oder ihrer Nebenorgane Sonderberichte und technische Veröffentlichungen sowie Methoden und Richtlinien, etwa zur Inventarisierung von Treibhausgasemissionen (IPCC, 1997). Zuletzt erschien ein Sonderbericht über die regionalen Auswirkungen des Klimawandels (IPCC, 1998). Der 3. Sachstandsbericht wird für das Jahr 2001 vorbereitet.

Der erste Sachstandsbericht des IPCC lag im Jahr 1990 zur 2. Weltklimakonferenz vor und verstärkte den Druck auf die internationale Staatengemeinschaft, so daß die Vollversammlung der Vereinten Nationen einen internationalen Verhandlungsprozeß zum Klimaschutz in Gang setzte. Dabei wurde unter Teilnahme von 150 Staaten und mit Unterstützung von WMO und UNEP die UN-Klimarahmenkonvention (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) erarbeitet, die im Mai 1992 verabschiedet und im Juni 1992 in Rio de Janeiro auf der UN-Konferenz über Umwelt und Entwicklung (UNCED) von über 150 Staaten unterzeichnet wurde. Sie trat 1994 in Kraft.

Ziel der Klimarahmenkonvention ist es, „die Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre auf einem Niveau zu stabilisieren, auf dem eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems verhindert wird. Ein solches Niveau sollte innerhalb eines Zeitraums erreicht werden, der ausreicht, damit sich die Ökosysteme den Klimaänderungen anpassen können, die Nahrungsmittelerzeugung nicht bedroht wird und die wirtschaftliche Entwicklung auf nachhaltige Weise fortgeführt werden kann“ (Artikel 2 UNFCCC).

Die Klimarahmenkonvention enthält keine konkrete Aussage, welches Niveau der Treibhausgaskonzentrationen ungefährlich ist. Auch enthält sie keine konkreten Reduktionsziele über das Jahr 2000 hinaus. Auf der 3. Vertragsstaatenkonferenz in Kyoto wurde im Dezember 1997 ein Protokoll zur Klimarahmenkonvention (das Kyoto-Protokoll) verabschiedet. Es legt erstmals rechtlich verbindliche Ver-

pflichtungen der Industrieländer zur Reduzierung ihrer Emissionen von Treibhausgasen fest (Kasten D 6.3-2).

6.3.2**Risikoforschung**

Für den Umgang mit den Risiken einer anthropogenen Klimaveränderung liefert die wissenschaftliche Diskussion neue Erkenntnisse und Anregungen für die Politik. Derzeit werden v. a. die folgenden Verfahren zur Berücksichtigung von Unsicherheiten angewandt: Sensitivitätsanalysen (im engeren Sinn), stochastische Modelle und Entscheidungsanalyse. Dabei handelt es sich um risikoanalytische Verfahren sowie um Verfahren des Risikomanagements. Der Beirat empfiehlt in diesem Zusammenhang ein integriertes Verfahren zum vorsorgenden Risikomanagement, das im folgenden als „Konzept der Toleranzfenster“ dargestellt wird.

Risikoanalyse: Sensitivitätsanalysen

Mit Sensitivitätsanalysen wird versucht abzuschätzen, welchen Einfluß unsichere Eingangswerte auf das Ergebnis von Risikomodellrechnungen nehmen können. In der einfachsten Variante einer solchen Analyse wird z. B. untersucht, wie sich die Modellergebnisse bei geringer Variation nur einer Eingangsgröße (z. B. um 10%) verändern, d. h. wie sensitiv sie gegenüber einer solchen Variation sind. Ist es möglich, den Unsicherheitsbereich einer solchen Eingangsgröße darüber hinaus zu quantifizieren (z. B.

Kasten D 6.3-2

Das Kyoto-Protokoll: Einstieg in ein internationales Risikomanagement

Das Kyoto-Protokoll ist eine Zusatzvereinbarung zur Klimarahmenkonvention, das im Dezember 1997 in Kyoto (Japan) erarbeitet wurde und erstmals verbindliche Reduktionsverpflichtungen für die Emission von Treibhausgasen festlegt. Die in Anlage I der Konvention aufgeführten Staaten (Industriestaaten) müssen im Fall der Ratifizierung ihre Emission von 6 Treibhausgasen bis zum Zeitraum 2008–2012 um mindestens 5% der 1990 emittierten Menge reduzieren. Die 6 Treibhausgase umfassen die 3 wichtigsten anthropogenen Treibhausgase Kohlendioxid, Methan, Distickstoffoxid sowie die treibhauswirksamen fluorierten Verbindungen (wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe, perfluorierte Kohlenwasserstoffe, Schwefelhexafluorid).

Die Verpflichtungen werden nach den einzelnen Anlage-I-Staaten differenziert und mitteln sich zu einer 5,2%igen Reduktion ihrer Emissionen. Die EU und die meisten osteuropäischen Staaten haben mit 8% die höchste Reduktionsquote auf sich genommen, gefolgt von den USA (7%), Japan, Kanada, Polen und Ungarn (6%) und Kroatien (5%). Rußland, die Ukraine und Neuseeland müssen ihre Emissionen lediglich stabilisieren, Norwegen darf die Emissionen um 1% steigern, Australien gar um 8% und Island um 10%. Zusätzlich zu den Emissionen aus den Bereichen Energie (einschließlich Verkehr), Industrie, Landwirtschaft und Abfallwirtschaft wird auch die Änderung der Emissionen angerechnet, die durch Maßnahmen der Aufforstung, Wiederaufforstung und Entwaldung seit 1990 erfolgte. Emissionen aus dem internationalen Schiffs- und Lufttransport sind ausgenommen. Die Industriestaaten können ihre Reduktionsverpflichtungen auch über den Handel mit Emissionszertifikaten sowie über die gemeinsame Umsetzung von Reduktionsmaßnahmen in einem anderen Anlage-I-Staat erfüllen, aber nur ergänzend zu Maßnahmen im eigenen Land. Über einen neuen finanziellen Mechanismus (clean development mechanism, CDM) wurde auch die Anrechnung von Projekten in Entwicklungsländern institutionalisiert. Um die Umsetzung von Reduktionsverpflichtungen zu kontrollieren, werden die Berichte und Treibhausgasinventare der Anlage-I-Staaten durch von den Vertragsstaaten ernannte Experten überprüft. Sanktionsmechanismen wurden jedoch nicht vereinbart, darüber soll die erste Vertragsstaatenversammlung des Protokolls entscheiden.

Bewertung

Angesichts der großen Abweichungen zwischen den Verhandlungspositionen der einzelnen Industrieländer und der Konflikte zwischen Industrie- und Entwicklungsländern begrüßt der Beirat das Kyoto-Protokoll mit verbindlichen Reduktionszielen als einen ersten Schritt hin zu einer verbindlichen Klimapolitik. Es sollte möglichst rasch ratifiziert werden. Allerdings bleibt eine Reduktion der Treibhausgasemissionen der Industrieländer um 5% bis 2010 weit hinter den Erfordernissen des Klimaschutzes zurück – so hat der Beirat in seiner Stellungnahme im Vorfeld der Verhandlungen in Kyoto eine Reduktionsquote von 11% bis 2005, 23% bis 2010 und 43% bis 2020 für die 3 wichtigsten Treibhausgase vorgeschlagen (WBGU, 1997). In diesem Zusammenhang ist es bedauerlich, daß kein automatischer Mechanismus zur Anpassung der Verpflichtungen nach dem Muster des Montreal-Protokolls eingeführt wurde.

Der Beirat begrüßt die Einführung flexibler Instrumente zur Umsetzung der Reduktionsverpflichtungen wie die

gemeinsame Umsetzung von Maßnahmen zwischen Industriestaaten (joint implementation, Artikel 6 Kyoto-Protokoll) und den Handel mit Emissionszertifikaten (Artikel 17 Kyoto-Protokoll) (WBGU, 1994; WBGU, 1996b; WBGU, 1997). Er sieht jedoch in der über den CDM eingeführten Möglichkeit einer Anrechnung von Maßnahmen in Entwicklungsländern auf die Verpflichtungen der Industriestaaten die Gefahr, daß dadurch die gesamte erlaubte Emissionsmenge erhöht wird und so die Reduktionsverpflichtungen aufgeweicht werden, solange keine konkreten Verpflichtungen für die Entwicklungsländer vereinbart werden. Dies ist ein weiterer Grund für die baldige Einbindung der Entwicklungsländer. Auch ist der Handel mit Emissionszertifikaten nur dann sinnvoll, wenn die Gesamtmenge der erlaubten Emissionen tatsächlich durch signifikante Reduktionsverpflichtungen begrenzt und gemindert wird. Diese Voraussetzung ist mit dem Kyoto-Protokoll nicht gegeben, da die Anlage-I-Staaten in ihrer Gesamtheit das 5%-Ziel bereits 1995 erreicht hatten. Der Grund dafür ist die erlaubte Emissionsmenge für Rußland und die Ukraine: Ihre infolge des Zusammenbruchs der Wirtschaft überschüssigen Emissionsrechte werden sie an die OECD-Staaten verkaufen können.

Zur Frage der Anrechnung terrestrischer Senken auf die Reduktionsverpflichtungen hat der Beirat ein eigenes Sondergutachten verfaßt (WBGU, 1998b). Darin bewertet der Beirat die Art der Anrechnung von Aufforstungen, Wiederaufforstungen und Entwaldungen auf die Reduktionsverpflichtungen, wie sie im Kyoto-Protokoll geregelt wird, als unzureichend und verbesserungsbedürftig, um sowohl dem Klimaschutz als auch dem Schutz der biologischen Vielfalt sowie dem Bodenschutz zu dienen. Die Anrechnung von Quellen und Senken im Verpflichtungszeitraum (2008–2012), die durch seit 1990 erfolgte Aufforstungen, Wiederaufforstungen und Entwaldungen entstehen, kann zu negativen Anreizen führen. Unsicherheiten und Probleme, die die Abschätzung der Emissionen und der Bestandsänderungen im Verpflichtungszeitraum erschweren, können einen Mißbrauch der Vereinbarungen fördern. Die Anrechnung terrestrischer Senken auf die Reduktionsverpflichtungen berücksichtigt nicht die zeitliche Dynamik von Kohlenstoffvorräten und -flüssen in der Biosphäre. Die langfristige Senkewirkung von beispielsweise Aufforstungsprojekten kann nicht garantiert werden. Schon bei geringfügigen Klimaänderungen können Senken zu Quellen werden. Deshalb können energiebedingte Emissionen nicht durch die terrestrische Biosphäre kompensiert werden.

Eine abschließende Bewertung der Auswirkungen des Kyoto-Protokolls ist noch nicht möglich, steht doch eine Reihe entscheidender Vereinbarungen noch aus. Dazu gehören die Ausgestaltung des Handels mit Zertifikaten und der gemeinsamen Umsetzung von Maßnahmen, die Regelung des CDM-Mechanismus und die mögliche zukünftige Einbeziehung weiterer Aktivitäten der Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft. Der Erfolg einer internationalen Klimapolitik muß daran gemessen werden, ob es gelingt, die Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre auf einem ungefährlichen Niveau zu stabilisieren (Art. 2 FCCC). Dazu hat der Beirat ein langfristiges Risikomanagement nach dem Konzept der Toleranzfenster (WBGU, 1997) vorgeschlagen. Auf der Grundlage von Pro-Kopf-Emissionen leitet der Beirat daraus auch ein Szenario zur mittel- und langfristigen Einbindung der Entwicklungsländer unter Berücksichtigung von Gerechtigkeitsaspekten ab. Je früher die Industriestaaten ihre eigenen Einsparpotentiale nutzen und ihre Emissionen deutlich reduzieren, desto eher können Industriestaaten eine Einbindung der Entwicklungsländer glaubwürdig einfordern.

durch die Angabe eines Ungewißheitsintervalls bzw. einer Wahrscheinlichkeitsverteilung), so interessieren natürlich v. a. auch die Modellergebnisse für eine (weitgehend) extreme Wahl der Eingangsdaten (z. B. Randwerte bei 10%- und 90%-Perzentil). Entsprechende Untersuchungen wurden für verschiedene integrierte Modelle durchgeführt (IPCC, 1996c; Nordhaus und Yang, 1996). Sie zeigen z. B., daß die Ergebnisse ökonomischer Kosten-Nutzen-Analysen erheblich von Unsicherheiten in der Diskontrate abhängen. Dies ist ein Grund für die große Bedeutung adäquater Diskontierungsmethoden.

Risikoanalyse: Stochastische Modelle

Stochastische Modelle versuchen nicht nur den Einfluß einzelner unsicherer Parameter getrennt zu untersuchen, sondern die in der Gesamtheit aller Eingangsdaten vorhandene Unsicherheit einzubeziehen. Dazu werden, ausgehend von vorhandenen oder subjektiv geschätzten Wahrscheinlichkeitsverteilungen, im Rahmen einer sog. Monte-Carlo-Simulation eine Vielzahl möglicher erlaubter Kombinationen der Eingangsdaten ermittelt und das dazugehörige Modellergebnis bestimmt. Die Vielzahl dieser Modellergebnisse kann dann wiederum durch eine Wahrscheinlichkeitsverteilung beschrieben werden, die es erlaubt, die Spannbreite möglicher zukünftiger Entwicklungen abzuschätzen (IPCC, 1996c).

Risikomanagement: Entscheidungs- und Kosten-Nutzen-Analyse

Eine mögliche Vorgehensweise zur Bewertung der vorgeschlagenen Entwicklungspfade im Rahmen des klimapolitischen Risikomanagements – auch unter Berücksichtigung von Unsicherheiten und Lernprozessen – stellt die sog. Entscheidungsanalyse dar (Nordhaus, 1994; Kap. F 1.2). Dabei muß folgendes berücksichtigt werden: Es ist in vielen Fällen nicht möglich, die Unsicherheit von Eingangsdaten durch objektive Wahrscheinlichkeiten zu beschreiben. Statt dessen werden subjektive Wahrscheinlichkeiten herangezogen, deren Gültigkeit aber nicht unumstritten ist (IPCC, 1996c). Zweitens wird mit diesen Verfahren häufig nur der Aspekt der Datenunsicherheit modelliert. Darüber hinaus besteht aber heute auch noch erhebliche Unsicherheit über die zu verwendende Modellstruktur. Vor allem die in Optimierungsmodellen (z. B. Kosten-Nutzen-Modellen) eingesetzten, vereinfachten Klimamodelle sind z. B. nicht in der Lage, Aussagen über mögliche Klimainstabilitäten als Ursache für Klimarisiken zu treffen. Dies führt dazu, daß eines der neuesten Kosten-Nutzen-Modelle (RICE: Nordhaus und Yang, 1996) einen optimalen Emissionspfad empfiehlt, der – verglichen mit den Ergebnissen anderen Untersuchungen (Stocker und Schmittner, 1997) – langfristig zum Ab-

schalten der thermohalinen Zirkulation führen würde. Da neben der Gefahr des Zusammenbruchs der thermohalinen Zirkulation weitere, bisher noch wesentlich schlechter untersuchte Klimainstabilitäten denkbar sind (IPCC, 1996c), scheint es angebracht, bis zum Vorliegen eines besseren Verständnisses solcher Vorgänge, einen Vorsorgekurs zu verfolgen. Einen entsprechenden Vorschlag hat der Beirat in seiner Stellungnahme zur Klimakonferenz in Kyoto (WBGU, 1997) ausführlich dargelegt.

Zu den Grundvoraussetzungen der Kosten-Nutzen-Analyse gehören der Bezug auf einen einzelnen Akteur (bzw. eine perfekt kooperierende Gruppe), die Überführung von Kosten und Nutzen in einen einheitlichen, z. B. monetären Bewertungsmaßstab, der alle Präferenzen der Menschheit widerspiegelt, und darüber hinaus die Quantifizierbarkeit der vorhandenen Unsicherheit. Da diese Voraussetzungen im vorliegenden Fall nicht gegeben sind, weist der IPCC (1996c) darauf hin, daß die qualitative Entscheidungsanalyse nicht als primäre Grundlage der internationalen Entscheidungsfindung im Bereich des Klimawandels dienen kann. Aufgrund der Unmöglichkeit, allein auf Basis der Entscheidungsanalyse ein global optimales Klimarisikomanagement zu identifizieren, und aufgrund des Mangels an effektiven und quantitativen Alternativen bleibt den Entscheidungsträgern somit nur die Möglichkeit, im Lauf von Verhandlungen zur Problemlösung zu gelangen (IPCC, 1996c).

Risikomanagement: Konzept der Toleranzfenster

Der Beirat stellt den vorgenannten Verfahren sein Konzept der Toleranzfenster (Fensteransatz) als nach seiner Auffassung angemesseneres Verfahren zum Management von Klimarisiken gegenüber. Charakteristisch für diesen Ansatz (WBGU, 1996a, 1996b, 1997; Toth et al., 1997) ist die normative Vorgabe von nicht tolerierbaren Risiken, den sog. *Leitplanken*. Die Begrenzung der tolerierbaren Entwicklungen des Klimawandels durch die Leitplanken soll verhindern, daß das Klimasystem in gefährliche Nähe zu möglicherweise instabilen Zuständen gerät, die aufgrund des extrem hohen Schadenspotentials zu dramatischen Klimagefahren führen könnten. Die Festlegung entsprechender Grenzwerte, z. B. für die absolute Änderung der globalen Mitteltemperatur bzw. für die Rate der Temperaturänderung, muß aufgrund der noch vorhandenen erheblichen Unsicherheiten so restriktiv sein, daß nach heutigem Ermessen das Auftreten solcher Instabilitäten weitgehend ausgeschlossen werden kann. Gleichzeitig darf aber auch die Belastbarkeit der Gesellschaft durch Maßnahmen zur Emissionsminderung nicht unbeachtet bleiben. Die Wertschöpfung, insbesondere moderner

Industrienationen, beruht in erheblichem Ausmaß auf der Nutzung fossiler Energieträger. Die gesamte Umstellung dieser Energiesysteme auf alternative Energieträger würde beachtliche Mengen an Kapital und v. a. auch Zeit erfordern, falls dies überhaupt realisierbar wäre. Deshalb verlangt die Anwendung des Fensteransatzes neben der Definition von Leitplanken im Klima- oder Klimawirkungsbereich auch die Festlegung von Belastbarkeitsgrenzen für die Gesellschaft, z. B. durch die Vorgabe maximaler Emissionsreduktionsraten.

Darüber hinaus können weitere Leitplanken formuliert werden, die – als normative Setzungen – Werturteile im Hinblick auf gesellschaftlich nicht mehr akzeptable Risiken einbeziehen. Diese Grenzssetzungen, insbesondere in Bezug auf mögliche tolerable Risiken, müssen von politischen Entscheidungsträgern vorgenommen und verantwortet werden. In demokratischen Systemen müssen diese Setzungen dem Erkenntnisfortschritt angepaßt und im Diskurs begründet werden. In diesem Sinn werden die Leitplanken mit hoher Wahrscheinlichkeit nie endgültig akzeptiert werden, sondern unter permanenter Begutachtung stehen (Turner et al., 1991). An dem Prozeß der kontinuierlichen Beratung sollten alle gesellschaftlichen Kräfte mitwirken, was deren angemessene Information voraussetzt.

Sobald die entsprechenden Leitplanken festliegen, kann im Rahmen einer rein wissenschaftlichen Analyse die Gesamtheit aller der mit den Leitplanken verträglichen Klimaschutzstrategien ermittelt werden. Damit lassen sich sofort Mindestanforderungen an globale und – unter zusätzlicher Beachtung von Gerechtigkeitsaspekten – an nationale Klimaschutzstrategien ableiten (WBGU, 1997).

Der Fensteransatz des WBGU kommt der oben aufgestellten Forderung nach effektiver und legitimer Entscheidungsfindung sehr entgegen. Er bestimmt nicht den optimalen Emissionspfad für die Weltgemeinschaft, sondern erschließt auf der Basis normativer Vorgaben für nicht mehr tolerierbare Entwicklungen eine Bandbreite aller mit diesen Restriktionen verträglichen Klimaschutzstrategien. Eine richtig verstandene Anwendung dieses Ansatzes versucht deshalb nicht primär, sofort auf internationaler Ebene einen Konsens über mögliche Grenzwerte zu erreichen. Statt dessen sollten alle wichtigen Akteure zuerst selbst solche Strategien ausschließen, deren Anwendung mit Sicherheit zu einer Verletzung der Leitplanken führen würde. Nur solche Maßnahmen sind erlaubt, deren Auswirkungen innerhalb der Leitplanken liegen. Darüber hinaus kann jede Gesellschaft getrennt bestimmen, wie sie den (Emissions-)Spielraum weiter einschränken möchte. Die so erhaltenen Spielräume können eine essentielle Grundlage für fruchtbare internationale Verhand-

lungen zur Bestimmung von weiteren klimarisikopolitischen Kompromißlösungen darstellen.

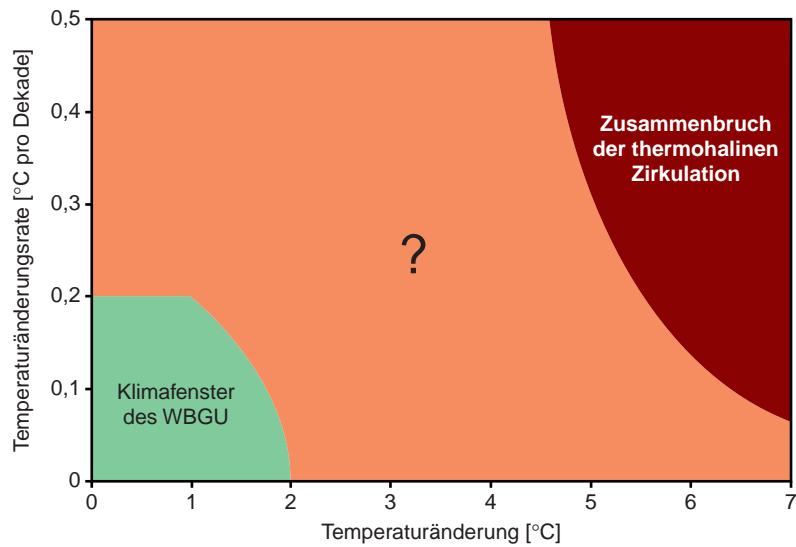
Was die Integration von Unsicherheitsaspekten in das Konzept des Leitplankenansatzes betrifft, lassen sich die folgenden Punkte unterscheiden: Der Ansatz begegnet Unsicherheiten in Bezug auf mögliche, teilweise noch weitgehend unerforschte Klimainstabilitäten als Ursachen neuer Klimarisiken durch die Festlegung von klimabezogenen Belastungsgrenzen, die nach dem heutigen Wissensstand nicht tolerierbare Klimaentwicklungen weitgehend ausschließen. Dabei ist es sinnvoll, neben Modellrechnungen verstärkt auch auf paläoklimatologische, d. h. historisch-empirische Erkenntnisse zurückzugreifen.

Datenunsicherheiten lassen sich prinzipiell auf 2 verschiedene Weisen integrieren: Sofern die Unsicherheit durch objektive bzw. konsensfähige subjektive Wahrscheinlichkeitsverteilungen beschrieben werden kann, sollte sie auch so berücksichtigt werden. Möglich ist dies z. B. durch eine Wahrscheinlichkeitsinterpretation der Leitplanken: Bei Vorhandensein von bestimmten Unsicherheiten kann oftmals ein Überschreiten von deterministischen Leitplanken nicht mit letzter Sicherheit ausgeschlossen werden. Sinnvoll ist es dann aber zu fordern, daß entsprechende Leitplanken nur mit einer Wahrscheinlichkeit kleiner als x% überschritten werden.

Einige Risiken sind singuläre Ereignisse, z. B. das Versiegen der Meeresströmung. Eine Statistik, die Aussagen über ihre Eintrittswahrscheinlichkeiten oder deren Varianz zuließe, existiert nicht. Unterschiedliche Modelle können eine solche Statistik nicht ersetzen, weil sie systematische Schwächen aufweisen. Dies ist also ein Risikotyp mit unbekannter Eintrittswahrscheinlichkeit (Ungewißheit), bei dem verlässliche Wahrscheinlichkeitsverteilungen nicht zu erstellen sind.

Am Beispiel des möglichen Zusammenbruchs der thermohalinen Zirkulation läßt sich die Ausformulierung einer Leitplanke skizzieren (Abb. D 6.3-1). Wie bereits erwähnt, unterstützen neuere Untersuchungen die Annahme, daß eine Zunahme der atmosphärischen CO₂-Konzentration unter bestimmten Umständen zu einem Versiegen der großskaligen thermohalinen Zirkulation (THC) führen kann. Besonders die systematischen, modellbasierten Sensitivitätsanalysen von Stocker und Schmittner (1997) haben gezeigt, daß in diesem Zusammenhang nicht nur die absolute, langfristige Konzentrationszunahme relevant ist, sondern daß auch deren Rate eine bedeutende Rolle spielt. Ihre Modellergebnisse zeigen einen vollständigen und dauerhaften Zusammenbruch der thermohalinen Zirkulation mit potentiell katastrophalen Auswirkungen auf Europa (Stocker und Schmittner, 1997; Abb. D 6.3-1). Dieser erste Versuch einer systematischen Untersuchung ist

Abbildung D 6.3-1
 Klimafenster des WBGU (*grün*) und ergänzender Instabilitätsbereich der thermohalinen Zirkulation (*dunkelrot*). In diesem Instabilitätsbereich, d. h. bei höheren Temperaturänderungen (im Vergleich zum vorindustriellen Wert) bzw. höheren Temperaturänderungsraten, ist gemäß den Modellrechnungen von Stocker und Schmittner mit einem vollständigen und permanenten Zusammenbruch der thermohalinen Zirkulation zu rechnen. Quellen: WBGU; Stocker und Schmittner, persönliche Mitteilung



deshalb von besonderem Wert, weil bisher häufig ein solcher Zusammenbruch der THC zu den sehr unwahrscheinlichen Folgen einer Zunahme der Kohlendioxidkonzentration gezählt wurde. Selbst der 2. Sachstandsbericht des IPCC (1996c) hat ein Verschwinden der THC noch für sehr unwahrscheinlich erachtet, obwohl er bereits selbst darauf hinweist, daß auf lange Sicht gesehen und ohne Klimaschutzanstrengungen ein solcher Zusammenbruch eher zum Basisfall werden kann und nicht zu einem Ereignis mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit (IPCC; 1996c). Der Beirat sieht sich durch die jüngsten Ergebnisse der Klimaforschung in seinem Ansatz bestätigt, durch die Vorgabe von geeigneten Leitplanken (WBGU, 1996a) zu verhindern, daß das Klimasystem in entsprechende Instabilitätsbereiche gerät. Bei der Definition dieser „Klimaschranken“ verläßt sich der Beirat nicht nur auf den gegenwärtigen Stand des quantitativen Wissens, sondern bezieht auch qualitative Einsichten sowie Vorsorgegesichtspunkte mit ein, denn wenn man sich ausschließlich auf das derzeit quantifizierbare Wissen verließ, könnte dies zu äußerst unerwünschten Ergebnissen führen. Wählt man z. B. den nach heute quantifizierbaren Kosten und Nutzen als optimal anzusehenden Klimaschutzpfad (gemäß Ergebnissen eines Kosten-Nutzen-Modells; Nordhaus, 1997), so zeigt sich, daß bei Verfolgen dieses Pfads innerhalb von 500 Jahren eine Temperaturerhöhung um 6,2 °C zu erwarten ist. Bei dieser Temperaturerhöhung ist aber gemäß den Modellrechnungen ein Zusammenbruch der THC nicht auszuschließen. Die bereits vor 1997 vorhandenen Hinweise auf ein potentiell instabiles Verhalten der THC (Mikolajewicz und Maier-Reimer, 1990; Manabe und Stouffer, 1993; Rahmstorf, 1995) sowie die Diskussion weiterer möglicher Klimainstabilitä-

ten haben den Beirat deshalb bewogen, das „Klimafenster“ (Abb. D 6.3-1), das seinen bisherigen Empfehlungen zugrundelag, im Hinblick auf solche Gefahren bewußt eng zu fassen (WBGU, 1995, 1996b, 1997). Klimainstabilitäten kommen v. a. durch positive Rückkopplungen zustande (sich aufschaukelnder Treibhauseffekt). Beispielsweise wird bei Erwärmung von Permafrostböden vermehrt Methan freigesetzt (IPCC, 1996c; Rückkopplungen des Wasser- und Kohlenstoffkreislaufs: WBGU, 1993, 1998a).

Das gewählte Klimafenster bedeutet aber weder, daß signifikante Klimafolgen bei einem Verbleiben darin völlig ausgeschlossen werden können, noch läßt sich zweifelsfrei beweisen, daß es außerhalb des Fensters zu einer unter allen Umständen katastrophalen Entwicklung kommen muß. Das Fenster grenzt aber nach Ansicht des Beirats den zukünftigen Klimaspielraum in einer Art und Weise ein, die den noch großen vorhandenen wissenschaftlichen Unsicherheiten weitgehend Rechnung trägt. So ist z. B. bei einem Vergleich des Klimafensters mit der Instabilitätslinie der THC zu beachten, daß letztere tatsächlich nur die Schwelle zur Instabilität wiedergibt und somit den Bereich definiert, bei dem ein Übergang zu einem neuen Gleichgewichtszustand zu erwarten ist. Es gibt aber bereits unterhalb der Instabilitätslinie Klimazustände, die zu einer zwar nicht dauerhaften, teilweise aber über mehrere Jahrhunderte andauernden, erheblichen Schwächung der THC führen können (Manabe und Stouffer, 1993; Stocker und Schmittner, 1997), was vom Standpunkt der potentiellen Klimafolgen her ebenfalls als äußerst gefährlich angesehen werden muß. Erst wenn dieser Gefährdungsbereich näher quantifiziert werden kann, erscheint es sinnvoll, das Klimafenster zu erweitern oder ggf. auch zu verengen. Hierbei ist zu

beachten, daß das Klimafenster neben der THC auch noch anderen Instabilitäten sowie Gefährdungen durch kontinuierlichen Klimawandel Rechnung tragen muß.

Alle diese Untersuchungen erfolgen auf der Basis mathematisch-physikalischer Modelle. Diese spiegeln das gegenwärtig quantifizierbare Wissen wider, erfassen aber noch nicht alle relevanten Einflüsse. Gerade im Hinblick auf die angegebene Instabilitätslinie ist zu betonen, daß das hier zugrundeliegende Modell den möglicherweise stabilisierenden Einfluß der Winde an der Meeresoberfläche vernachlässigt. Gleichzeitig wird aber eine durch die Schwächung der THC möglicherweise ausgelöste Reduktion der ozeanischen Kohlendioxidaufnahme, die zu einem sich verstärkenden Treibhauseffekt führen könnte, im Modell bislang nicht berücksichtigt (Stocker und Schmittner, 1997a). Darüber hinaus wird neben dem von Stocker und Schmittner betrachteten Instabilitätsmechanismus ein weiterer vermutet, dessen Wirkung stark von (nur sehr schwer modellierbaren) lokalen Veränderungen der Frischwasserzufuhr an bestimmten Stellen des Nordatlantik abhängt. Dieser Mechanismus erfordert deshalb besondere Beachtung, weil er zu einer wesentlich rascheren Veränderung der THC führen kann (Rahmstorf, 1995, 1997).

6.4

Zuordnung zu den Risikotypen

Das Schadensausmaß, das mit dem anthropogenen Klimawandel verbunden ist, ist zwar nicht für einzelne Regionen vorherzusagen, muß aber für anfällige Regionen als durchweg hoch eingeschätzt werden. Die allmähliche globale Erwärmung entfaltet ihre Wirkung nur langsam und, v. a. wegen der Trägheit der Ozeane, zeitlich verzögert. Bereits die in der Vergangenheit emittierten Treibhausgase werden zu einem Klimawandel und einem Anstieg des Meeresspiegels führen, selbst wenn die Emissionen sofort zurückgefahren werden würden. Die Eintrittswahrscheinlichkeit ist hoch – der anthropogene Klimawandel ist sogar bereits beobachtbar (IPCC, 1996a). Die Unsicherheit in der Abschätzung sowohl der Eintrittswahrscheinlichkeit als auch des Schadens hängt von der räumlichen und zeitlichen Skala sowie von den betrachteten Klimaparametern ab (Tab. D 6.4-1). So sind erwartete Änderungen auf kontinentaler Skala besser abschätzbar als auf der regionalen Skala. Auch sind Änderungen im hydrologischen Kreislauf schlechter abzuschätzen als etwa der Temperatur. Für die Bedrohung marginaler, natürlicher und landwirtschaftlicher Ökosysteme ist die Abschätzungssicherheit hoch. Dies gilt insbesondere für viele Küstengebiete, für die Überschwemmungen

drohen. Damit gehört der anthropogene schlechende Klimawandel zum Risikotyp *Kassandra* (Tab. D 6.4.-2).

Für einen Klimakollaps aufgrund des Erliegens der atlantischen thermohalinen Zirkulation ist das Schadensausmaß mit großer Sicherheit sehr hoch, die Eintrittswahrscheinlichkeit allerdings unbekannt. Dieses Risiko läßt sich deshalb dem Typ *Zyklop* zuordnen (Tab. D 6.4-3).

Für andere mögliche abrupte Klimaänderungen mit katastrophalen Folgen, wie sie beispielsweise durch positive Rückkopplungen oder durch die mögliche Instabilität der westantarktischen Eisschilde ausgelöst werden können, lassen sich sowohl das Schadensausmaß als auch die Eintrittswahrscheinlichkeit noch nicht abschätzen. Daher werden diese Risiken dem Typ *Pythia* zugeordnet.

Versucht man, die mit den natürlichen Schwankungen des Klimas verbundenen Risiken für nicht angepaßte Agrarökosysteme zuzuordnen, so fällt auf, daß keine extremen Werte in den Risikobewertungskriterien auftreten, so daß diese Risiken in den Normalbereich fallen. Allerdings hat der Beirat eingangs darauf hingewiesen (Kap. B), daß auch diese Risiken global relevant werden können, wenn sie akkumuliert auftreten und wenn betroffene Länder mit dem Risikomanagement überfordert sind.

Die Bewertung des mit dem ENSO-Phänomen verbundenen Risikos anhand der vom Beirat gewählten Kriterien zeigt, daß dieses Risiko nicht mehr dem Risikotyp *Zyklop* zugeordnet werden kann. Insbesondere seit eine Warnung vor ENSO mehrere Monate vor dem Eintritt möglich ist, sind die Instrumente des normalen Risikomanagements anwendbar.

Die Risiken des anthropogenen Klimawandels zeichnen sich somit im Gegensatz zu den Risiken der natürlichen Klimavariabilität dadurch aus, daß sie eindeutig in den Grenzbereich eingeordnet werden und sich als Vertreter der Risikotypen *Kassandra*, *Pythia* und *Zyklop* sogar teilweise im verbotenen Bereich befinden.

6.5

Synopse der strategischen Forschungsempfehlungen

Vor mehr als 20 Jahren haben die Analysen „Grenzen des Wachstums“ (Meadows, 1972) und danach „Global 2000“ (Council on Environmental Quality, 1980) die Risiken einer unbeschränkten Nutzung natürlicher Ressourcen und der Belastung der globalen Umwelt dargestellt und zum schonenden und verantwortungsvollen Umgang mit den Umweltressourcen aufgerufen. Diese Warnungen haben auch auf den in-

Tabelle D 6.4-1

Anwendung der Kriterien auf das mit der natürlichen Klimavariabilität verbundene Risiko. Es gehört keinem Risikotyp an.
 Legende s. Kasten D 2.1-1.
 Quelle: WBGU

Kriterium	Eigenschaften				
	Gering	Eher gering	Eher hoch	Hoch	Ungewiß
Eintrittswahrscheinlichkeit <i>W</i>					<input type="checkbox"/>
Abschätzungssicherheit von <i>W</i>					<input type="checkbox"/>
Schadensausmaß <i>A</i>					<input type="checkbox"/>
Abschätzungssicherheit von <i>A</i>					<input type="checkbox"/>
Ubiquität					<input type="checkbox"/>
Persistenz					<input type="checkbox"/>
Irreversibilität					<input type="checkbox"/>
Verzögerungswirkung					<input type="checkbox"/>
Mobilisierungspotential					<input type="checkbox"/>

Tabelle D 6.4-2

Anwendung der Kriterien auf das mit dem anthropogenen, schleichenden Klimawandel verbundene Risiko. Es gehört zum Risikotyp *Kassandra*. Legende s. Kasten D 2.1-1.
 Quelle: WBGU

Kriterium	Eigenschaften				
	Gering	Eher gering	Eher hoch	Hoch	Ungewiß
Eintrittswahrscheinlichkeit <i>W</i>					<input type="checkbox"/>
Abschätzungssicherheit von <i>W</i>					<input type="checkbox"/>
Schadensausmaß <i>A</i>					<input type="checkbox"/>
Abschätzungssicherheit von <i>A</i>					<input type="checkbox"/>
Ubiquität					<input type="checkbox"/>
Persistenz					<input type="checkbox"/>
Irreversibilität					<input type="checkbox"/>
Verzögerungswirkung					<input type="checkbox"/>
Mobilisierungspotential					<input type="checkbox"/>

ternationalen Klimaschutz abgefärbt. Aus Gründen der Vorsorge und eines klugen Umgangs mit Unsicherheit und Ungewißheit haben einige Staaten ihre Umwelt- und Klimaforschung erheblich verstärkt (BMFT, 1987). Das Beispiel des stratosphärischen Ozonabbaus hat sehr deutlich gemacht, daß die Erforschung des Globalen Wandels nicht nur auf angewandte Forschung rekurieren kann und muß: In wichtigen Bereichen waren auch die Grundlagen noch nicht bekannt (im Ozonfall die physikalische Chemie von Mehrphasenprozessen bei tiefen Temperaturen). Da die stratosphärische Ozonschicht nur ein Subsystem des Klimasystems darstellt, ist die Erforschung der Wirkung erhöhter Konzentrationen

von Treibhausgasen und Aerosolen auf das globale Klima eine noch wesentlich komplexere Aufgabe.

Die natürliche Klimavariabilität kann nur unzureichend von den bislang vorliegenden empirischen Beobachtungsreihen integriert bzw. auf der Basis physikalischer Modelle numerisch simuliert werden. Wird der natürlichen Klimavariation ein anthropogenes Signal überlagert, so ist dieses vor dem Hintergrund der natürlichen, v. a. der langperiodischen Fluktuationen kaum zu erkennen. Ein verbessertes Verständnis der natürlichen Klimavariabilität und damit der regionalisierten Klimavorhersagen sollte deswegen das vorrangige Ziel der Klimaforschung sein. Um dies zu erreichen, muß das Klimasystemver-

Tabelle D 6.4-3

Anwendung der Kriterien auf das mit einem Zusammenbruch der thermohalinen Zirkulation verbundene Risiko. Es gehört zum Risikotyp Zyklus. Legende s. Kasten D 2.1-1.
 Quelle: WBGU

Kriterium	Eigenschaften				
	Gering	Eher gering	Eher hoch	Hoch	Ungewiß
Eintrittswahrscheinlichkeit W					<input checked="" type="checkbox"/>
Abschätzungssicherheit von W					<input checked="" type="checkbox"/>
Schadensausmaß A					<input type="checkbox"/>
Abschätzungssicherheit von A					<input type="checkbox"/>
Ubiquität					<input type="checkbox"/>
Persistenz					<input type="checkbox"/>
Irreversibilität					<input type="checkbox"/>
Verzögerungswirkung					<input type="checkbox"/>
Mobilisierungspotential					<input type="checkbox"/>

ständnis durch Modelle und Beobachtungen verbessert werden. Der Schwerpunkt sollte auf den Teilsystemen Hydrosphäre (Wolken, Kryosphäre, Ozean) und Biosphäre sowie auf den Wechselwirkungen zwischen den Teilsystemen liegen. Dies schließt Elemente der Grundlagenforschung auf relevanten, benachbarten Gebieten (nichtlineare Systeme, Chaostheorie, Vorhersagbarkeit) mit ein.

Naturkatastrophen umfassen einen breiten Bereich gewaltsamer Erscheinungen, die sehr unterschiedliche Ursachen haben können. Überschwemmungen, Dürren, Hagelschläge und Stürme sind Folgen meteorologischer Extremereignisse, während Erdbeben und Vulkanismus durch geophysikalische Prozesse ausgelöst werden. Meteoriteneinschläge haben ihre Ursache sogar im extraterrestrischen Bereich. Naturrisiken können globale Auslöser (z. B. globaler Klimawandel) und globale Auswirkungen haben. Dies ist beispielsweise bei Vulkaneruptionen dann der Fall, wenn Aerosole und Aschen bis in die Stratosphäre gelangen, sich global ausbreiten und somit das Klima beeinflussen. Einschläge von Meteoriten mit Durchmessern von 1,5 km oder mehr wirken sich ebenfalls global aus (Morrison et al., 1994). Von globalen Risiken kann man auch sprechen, wenn für das Risikomanagement internationale Anstrengungen erforderlich werden oder das Risiko an vielen Orten auftritt. Dies ist für Hochwasser und Dürren sowie Erdbeben häufig der Fall. Andere Naturkatastrophen wie Erdbeben und Hagelschläge sind meist lokaler bis regionaler Natur.

Die Primärursachen von Naturkatastrophen können durch den Menschen in der Regel nicht beeinflusst werden. Risiken entstehen erst durch die Exposition und Vulnerabilität des Menschen gegenüber den aus natürlichen Ereignissen entstehenden Gefahren. Maßnahmen zur Verringerung dieser Risiken haben zur Voraussetzung, daß die Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten der auslösenden Naturereignisse möglichst langfristig und genau prognostiziert werden können. Vorbeugende Maßnahmen müssen zum Ziel haben, die Exposition und die Vulnerabilität potentiell betroffener Gebiete zu mindern.

Die Eintrittswahrscheinlichkeit von Naturkatastrophen mit hohem Schadenspotential ist in der Regel gering. Sie kann anschaulich als Wiederkehrintervall (Jährlichkeit) ausgedrückt werden. Man versteht darunter das Zeitintervall, innerhalb dessen – statistisch betrachtet – ein Ereignis einmal in einer bestimmten Größenordnung auftritt. Dadurch werden aber keine Aussagen darüber getroffen, wann ein Ereignis tatsächlich eintreten wird. Im Hinblick auf

mögliche künftige durch geotektonische und hydrologische Prozesse ausgelöste Naturereignisse sind bestenfalls Wahrscheinlichkeitsaussagen möglich. Eine entsprechende Datenbasis vorausgesetzt, wären hingegen die meisten Meteoriteneinschläge mit hoher Präzision und für lange Zeiträume vorhersagbar. Allerdings kann das zu erwartende Schadensmaß nicht angegeben werden, da dieses in hohem Maß von der Vulnerabilität des Aufschlagsgebiets abhängt, das kaum prognostizierbar ist. Beispielhaft für global bedeutsame Naturkatastrophen sollen im folgenden Hochwasser, Erdbeben, Vulkanismus, Tsunamis sowie Meteoriteneinschläge behandelt werden.

7.1 Natürliche Risikopotentiale

7.1.1 Hochwasser

Die Bedrohung durch Überschwemmungen konzentriert sich auf Flußtäler und küstennahe Bereiche. Während im ersten Fall die Intensität und Dauer der Niederschläge sowie die Wasserrückhaltekapazität im Einzugsgebiet ausschlaggebend sind, kann in Küstengebieten die Aufstauung des Meerwassers infolge langanhaltender starker Stürme zu Hochwasser führen. Häufig treten in Mündungsgebieten großer Flüsse land- und seeseitige Bedrohungen gleichzeitig auf. Überschwemmungsgefährdete Gebiete sowohl entlang von Flüssen als auch an Flachküsten bieten häufig erhebliche wirtschaftliche Vorteile und werden aus diesem Grund zunehmend besiedelt. Die dadurch gesteigerte Exposition und Vulnerabilität (v. a. in Entwicklungs- und Schwellenländern) erhöhen das Risikopotential erheblich (WBGU, 1998a). Hochwasser hat weltweit das größte Schadenspotential unter den Naturkatastrophen (IDNDR, 1993). Bei weitem die größte Anzahl Personen ist jährlich von Hochwasserereignissen betroffen (DRK, 1997). Dabei existieren jedoch erhebliche regionale, natio-

nale und selbst kontinentale Unterschiede, was die Häufigkeit, das Ausmaß der Ereignisse und die Höhe der Schäden betrifft. Die jüngsten Flutkatastrophen in China und Lateinamerika legen dafür bereits Zeugnis ab. Wenn im folgenden europäische Beispiele zur Illustration herangezogen werden, spiegelt dies die hier bessere Datenlage und nicht das Risikopotential wider.

Wirkungsmechanismen bei der Entstehung von Hochwasserrisiken

Meteorologisch-klimatologische Faktoren

Die Frage, ob die Häufigkeit von Extremwetterereignissen, die zu Hochwasser oder Sturmfluten führen, als Folge des globalen Klimawandels bereits zugenommen hat oder in der nächsten Zukunft zunehmen wird, wird z. Z. kontrovers diskutiert (Kap. D 6). Übereinstimmung herrscht jedoch darüber, daß der globale Klimawandel prinzipiell die Wahrscheinlichkeit extremer Wetterbedingungen beeinflussen kann. Wärmere und trockenere Sommer etwa lassen einen weiteren Rückgang der Gletscher in den Hochgebirgen erwarten. Als Konsequenz verringert sich die winterliche Rückhaltekapazität von Niederschlägen, und die Abflussspitzen verlagern sich in den Winter, was durch einen Trend zu milderem Winter weiter verstärkt werden würde (IKSR, 1997; Berz, 1997a). In der Folge ist durch den Klimawandel eine Zunahme der Überschwemmungsgefahr zu befürchten.

Abflußregime

Die Schüttung von Fließgewässern hängt von der Größe des Einzugsgebiets, der Niederschlagsmenge pro Flächeneinheit und der Rückhaltung von Wasser innerhalb des Einzugsgebiets ab. In den meisten Einzugsgebieten kommt es nach Niederschlagsereignissen zu einer Verzögerung des Abflusses durch die Entfernung zwischen Niederschlagsschwerpunkt und Abflußkegel sowie durch die Rückhaltung des Wassers durch Bodeninfiltration und Aufnahme in oberirdische Reservoirs (Dyck und Peschke, 1997). Hochwasser kann dann auftreten, wenn die Wasser-rückhaltekapazität von Vegetation und Böden im Einzugsgebiet überschritten wird. Maßgebend für das Ausmaß eines Hochwassers sind daher neben der zeitlichen und räumlichen Verteilung des Niederschlags die Speicherwirkungen von Bewuchs, Boden und die Geländetopografie.

Durch anthropogene Einflüsse haben sich trotz der teilweise hohen Aufwendungen für den Hochwasserschutz sowohl die Eintrittswahrscheinlichkeit als auch das Schadenspotential von Überschwemmungen erheblich vergrößert. Für die höhere Ein-

trittswahrscheinlichkeit spielen v. a. folgende Faktoren eine Rolle (IKSR, 1995; UBA, 1998):

- Gewässerausbau mit dem bevorzugten Ziel der Beschleunigung der Wasserableitung bei gleichzeitigem Verlust an natürlichen Überschwemmungsflächen (Auen) durch flußnahen Deichbau.
- Verringerung der natürlichen Wasserrückhaltekapazität (besonders von Hangflächen) infolge der Verminderung von Waldbeständen durch Rodung und Waldschäden sowie durch nicht standortgerechte Landwirtschaft.
- Versiegelung im Einzugsgebiet durch Siedlung, Gewerbe und die Errichtung von Verkehrswegen (lokale und regionale Bedeutung).

Uneinheitliche Hochwasserschutzsysteme als Risikofaktoren

Heute genießt der Ausbau von Flüssen als Schifffahrtsweg hohe Priorität. Die vorhandenen Deiche an vielen Flüssen sind im Lauf mehrerer Jahrhunderte entstanden und basieren auf unterschiedlichen Bemessungsgrundlagen. Ebenso unterscheiden sich die verwendeten Materialien und Techniken. Teilweise wurde, wie etwa an der Oder, auf instabilem Untergrund gebaut.

In der Regel werden in Deutschland die Hochwasserschutzbauten nach dem 100jährigen Hochwasser bemessen. Jedoch wurden bisher stromabwärts gelegene Gebiete nicht in allen Fällen bei der Planung ausreichend berücksichtigt. Aus diesem Grund sowie der unterschiedlichen topografischen Bedingungen stellen die Hochwasserbauten häufig keine einheitlichen Schutzsysteme dar (Grünwald, 1998). Auch am Rhein ist der Hochwasserschutz im Längsverlauf aus historischen Gründen sehr unterschiedlich wirksam (IKSR, 1997).

Schadenspotential

Durch Hochwasser entstehen Verluste von Menschenleben, Schäden an ökonomischen Werten (Gebäuden, Verkehrswegen und anderen Bauwerken, genutzten Landflächen) und an gesellschaftlichen Werten (Imageverluste von Regionen, Verlust von Kulturgütern). Ökologische Schäden (z. B. Erosion) treten in vorgeschädigten Gebieten auf. Folgeschäden entstehen v. a. durch die Freisetzung von Schadstoffen (IKSR, 1997).

Reiche Industrienationen wie z. B. die Niederlande haben in den letzten Jahrzehnten erhebliche Anstrengungen zum Hochwasserschutz unternommen. Schwere Schäden an Menschenleben und Eigentum sind dadurch sehr viel seltener geworden (IKSR, 1997). Im Bereich von Flußmündungen ist die Gefährdung durch Überschwemmungen dann besonders groß, wenn hohe Schüttungen der Flüsse gleichzeitig mit Springtiden und der windbedingten Stau-

ung des Meerwassers auftreten. Durch Flußregulierung im Hinterland nehmen die Sedimentfrachten im Deltabereich ab. Als Konsequenz können die durch die Tätigkeit des Meers erodierten Anteile des Sediments im Delta nicht mehr durch Nachlieferung vom Land her ergänzt werden. Dadurch erhöht sich die Gefährdung der Deltabewohner erheblich.

Schwerwiegender ist die Situation in Ländern, wo die Mittel für die Errichtung von Hochwasserschutzbauten nicht zur Verfügung stehen. Ein extremes Beispiel in dieser Hinsicht ist Bangladesch. Die Hochwasserbedrohung kommt sowohl vom Inland als auch vom Meer und wird in beiden Fällen stark durch die regelmäßig wiederkehrenden Monsunwinde geprägt. Der überwiegende Teil des Lands liegt nicht mehr als 10 m über dem Meeresspiegel. Als Folge der niedrigen Lage und der bislang unzureichenden Hochwasserschutzbauten sind weite Gebiete des Lands durch Hochwasser gefährdet. Die schwierige wirtschaftliche Lage und die extreme Bevölkerungsdichte führen zu hoher Vulnerabilität in diesen intensiv landwirtschaftlich genutzten und fruchtbaren Gebieten. Weite Teile des Lands werden jedes Jahr überflutet, katastrophale Fluten treten etwa 1mal pro Jahrzehnt auf. Allein zwischen 1960 und 1970 wurde das Land von 13 großen Wirbelstürmen und nachfolgenden Überschwemmungen heimgesucht. Von der Flutkatastrophe des Jahres 1988 waren 46% des Lands betroffen, über 45 Mio. Menschen (fast $\frac{1}{3}$ der gesamten Bevölkerung) wurden heimatlos und verloren ihren Besitz, 2.000 Menschen ertranken (Jessen, 1996).

7.1.2 Erdbeben, Vulkanismus und Tsunamis

Die meisten Erdbeben entstehen durch Verschiebungen der Kontinentalplatten (tektonische Beben). Sie treten überwiegend an den Plattengrenzen auf, die sich aufeinander zu- oder aneinander vorbei bewegen. Daneben gibt es auch Erdbeben innerhalb von Platten im Zusammenhang mit Vulkanismus (vulkanische Beben) und mit dem Einstürzen von Hohlräumen in der Erdkruste (Einsturzbeben). Etwa 80% der weltweiten seismischen Energieauslösung und rund 95% aller ausgelösten Beben sowie viele Vulkane konzentrieren sich rund um das pazifische Becken („pazifischer Feuerkreis“). Diese Katastrophen können auch weitreichende Sekundärfolgen haben. Im Hinblick auf Schadenspotential und räumliche Ausdehnung sind unter diesen Sekundärfolgen die Tsunamis (japanisch: „große Hafenwelle“) am wichtigsten. Ihre Auslöser sind unterseeische Erdbeben (Seebeben), Vulkaneruptionen und Hangrutschungen in unmittelbarer Küstennähe. Deshalb

treten auch Tsunamis gehäuft an den Küsten des Pazifiks und in angrenzenden Randmeeren auf.

Schadenspotential

Die Schadenshöhe von geotektonischen Katastrophen ist von der Intensität des Primärereignisses und der Vulnerabilität des betroffenen Gebiets abhängig. Im Gegensatz zur Vulnerabilität läßt sich die Stärke der Primärereignisse durch einfache Indikatoren bewerten. Die Erdbebenstärke wird durch die Magnitude oder die Intensität ausgedrückt. Unter der Magnitude wird ein logarithmisches Maß für die im Bebenherd freigesetzte Energie verstanden und durch die nach oben offene logarithmische Richterskala angegeben. Sie wird aus der Aufzeichnung der von den Bebenwellen erzeugten Bodenbewegung ermittelt. Die Intensität eines Erdbebens ist durch seine Auswirkungen auf natürliche und künstliche Objekte gekennzeichnet und wird durch die makroseismische Erdbebenskala (Mercalli-Skala) ausgedrückt. Diese Skala erlaubt den Vergleich mit historischen Beben, basierend auf den entstandenen Schäden.

Für die Kennzeichnung der Stärke von Vulkaneruptionen hat sich seit etwa 15 Jahren der vulkanische Explosionsindex durchgesetzt (Newhall und Self, 1982), der quantitative Angaben über das Volumen des ausgeworfenen Materials und die Höhe der Eruptionssäule mit qualitativen Beobachtungen verknüpft. Ähnlich wie die Magnitude für Erdbeben ist dieser Index ein logarithmisches Maß der Eruptionsstärke.

Das Gefahrenpotential von Tsunamis liegt in der extremen Zunahme der Wellenhöhen im küstennahen Flachwasserbereich. Zur Abschätzung ihres Schadenspotentials ist die Wellenhöhe in unmittelbarer Küstennähe ein geeignetes Maß.

Schadensausmaß

Zwischen $\frac{1}{3}$ und der Hälfte aller in diesem Jahrhundert zu beklagenden 4 Mio. Todesopfer aus Naturkatastrophen gehen zu Lasten von Erdbeben (Tab. D 7.1-1). Vulkanausbrüche sind für weniger als 2% der Todesopfer verantwortlich und Tsunamis für etwa 0,5%. Auch bei materiellen Schäden durch geophysikalische Katastrophen stehen Erdbeben mit Abstand an der Spitze (Tschau, 1998). Die deutliche Steigerung der materiellen Schäden durch Erdbeben seit 1970 ist auf die zunehmende Vulnerabilität der betroffenen Gebiete z. B. infolge der fortschreitenden Industrialisierung, des Ausbaus der Infrastruktur sowie der gestiegenen Bevölkerungsdichte zurückzuführen. Besondere Gefahren gehen von Betrieben aus, die mit Gefahrgut umgehen (z. B. Kernkraftwerke, Chemieindustrie).

Auch die Zahl der durch Vulkanausbrüche Betroffenen wächst durch die Zunahme der Vulnerabi-

	Erdbeben		Vulkane	
	Tote	Schäden [Mio. US-\$]	Tote	Schäden [Mio. US-\$]
1900–1909	178.626	950	34.200	Nicht erfaßt
1910–1919	49.378	60	6.585	20
1920–1929	408.113	2.840	Nicht erfaßt	Nicht erfaßt
1930–1939	195.122	137	1.369	Nicht erfaßt
1940–1949	47.470	1.155	2.000	80
1950–1959	6.634	204	4.942	Nicht erfaßt
1960–1969	45.647	4.030	3.870	Nicht erfaßt
1970–1979	422.136	17.248	64	200
1980–1989	48.059	46.238	23.060	1.090
1990–1996	64.445	139.880	875	750
Summe	1.465.630	212.742	76.965	2.140

Tabelle D 7.1-1
Todesopfer und materielle Schäden durch Erdbeben und Vulkanismus in diesem Jahrhundert.

Quelle: Münchner Rückversicherung, 1997

lität beträchtlich. Im Jahr 2000 werden voraussichtlich mindestens 500 Mio. Menschen durch Vulkaneruptionen bedroht sein (Zschau, 1998). Tsunamis gefährden flache Areale in unmittelbarer Küstennähe. Ihre durch hohe Besiedlungsdichte bedingte große Vulnerabilität führt zwangsläufig zu einem hohen Schadenspotential.

7.1.3

Asteroide und Kometen

Risiken aus Meteoriteneinschlägen sind durchaus mit jenen anderer Naturereignisse vergleichbar. Körper mit Durchmessern von über 10 m verglühn meist nicht vollständig in der Atmosphäre und fallen als Meteoriten auf die Erde (Morrison et al., 1994). Die letzte größere Naturkatastrophe dieser Art ereignete sich 1908 in Sibirien (Tunguska-Ereignis) und zerstörte Wälder auf einer Fläche von 2.000 km². Ein Verlust von Menschenleben war nicht zu beklagen, da das betroffene Gebiet unbewohnt war. Hätte dieses Ereignis in einer dichtbevölkerten Region stattgefunden, wäre die Anzahl der Todesopfer möglicherweise höher gewesen als jene infolge sämtlicher übriger Naturkatastrophen dieses Jahrhunderts (ca. 4 Mio. Menschen). Auch kleine kosmische Partikel können Risiken bergen: im erdnahen Weltraum gefährden sie die bemannte und unbemannte Raumfahrt.

Schadenspotential

Die Wirkung von Meteoriteneinschlägen ist proportional der Aufschlagsenergie. Sie wird, wie die Explosivkraft von Kernwaffen, mit der Sprengkraft von TNT (Trinitrotoluol) verglichen. Sie kann bei Kenntnis der Aufschlaggeschwindigkeit in Beziehung zur Masse (und damit auch zur Größe) des Asteroiden gebracht werden.

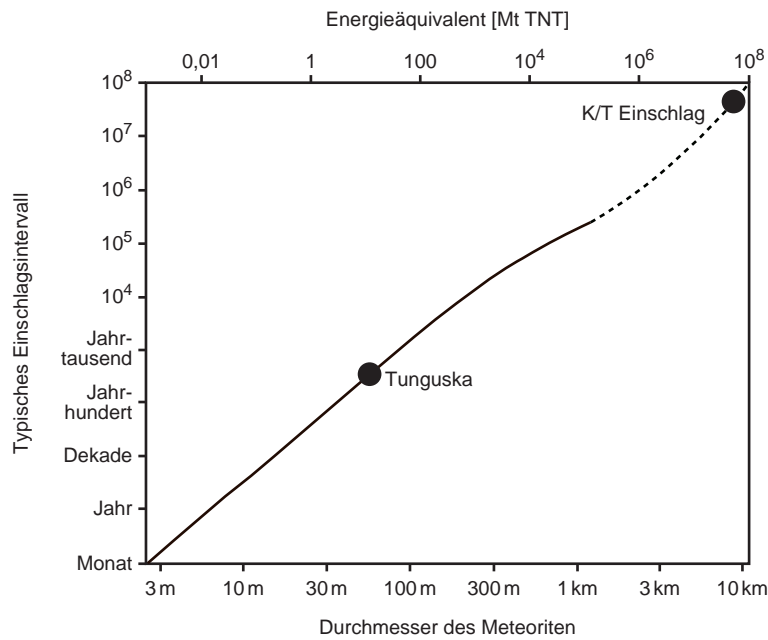
Die verlässlichste Statistik über die Wahrscheinlichkeit von Meteoriteneinschlägen während der

letzten 3,3 Mrd. Jahre liefert die Häufigkeitsverteilung der Mondkrater (Morrison et al., 1994). Es besteht eine umgekehrte Beziehung zwischen Größe und Aufschlaghäufigkeit von Meteoriten, die als Grundlage für die Abschätzung von Eintrittswahrscheinlichkeit und potentiellem Schadensausmaß von Meteoriteneinschlägen dienen kann (Abb. D 7.1-1). Ereignisse mit globalen Auswirkungen treten im Durchschnitt alle 300.000 Jahre auf und werden durch Meteoriten von mindestens 1,5 km Durchmesser ausgelöst.

Aus der Analyse von Kernexplosionen, Experimenten in kleinem Maßstab und Modellkalkulationen wurde versucht, Vorhersagen über die Auswirkungen von Meteoriteneinschlägen zu treffen, welche als Grundlage für die Abschätzung ihres potentiellen Schadensausmaßes dienen können. Objekte mit Durchmessern über 10 m durchdringen die Atmosphäre und erzeugen einen Aufschlagkrater. Als Folge einer kurzzeitig auftretenden Druckwelle kommt es zu Stürmen mit verheerenden Auswirkungen (Toon et al., 1994). Druckwellen können aber auch dann entstehen, wenn Asteroide in der Atmosphäre zerplatzen und ihre Fragmente verglühn. Dies traf wahrscheinlich auf das Tunguska-Ereignis von 1908 zu, weil keine Überreste eines Meteoriten gefunden wurden. Beim Auftreffen von Meteoriten auf die Meeresoberfläche entstehen gewaltige Tsunamis. Für den im südöstlichen Pazifik vor 2,15 Mio. Jahren niedergegangenen Eltaninmeteoriten (geschätzter Durchmesser maximal 4 km) wird die Höhe der Tsunamiwelle auf 20–40 m geschätzt. Im küstennahen Flachwasserbereich erhöht sich die Wellenhöhe um das 10–25fache (Gersonde et al., 1997).

Meteoriteneinschläge führen zum Auswurf von festem Material bzw. von Wasser. Wenn Rauch, Staub und Wasser bis in die Stratosphäre gelangen, verbleiben sie dort für ca. 6 Monate und können sich weltweit ausbreiten. Als Folge wird die Atmosphäre durch Staub und Aerosole getrübt, wodurch sich die

Abbildung D 7.1-1
 Kumulative Energie-
 Häufigkeits-Verteilung von
 Meteoriteneinschlägen auf
 der Erde, basierend auf der
 Größen-Häufigkeits-
 Verteilung der Mondkrater.
 Quelle: Morrison et al., 1994



Einstrahlungsintensität der Sonne auf der Erdoberfläche drastisch verringert. Bei einer Abnahme der Strahlung an der Erdoberfläche auf unter 1% kommt die Photosynthese der Pflanzen zum Erliegen. Durch die Erhöhung der Rückreflexion von Sonnenlicht in den Weltraum (Albedo) und die Absorption der Sonnenstrahlung in der Luftsäule kommt es vorübergehend zu einer dramatischen Abkühlung, wie sie entsprechend für den nuklearen Winter vorhergesagt wurde (Turco et al., 1982).

Durch die Druckwelle bilden sich aus Luftstickstoff und Sauerstoff Stickoxide. Außerdem können durch den Einschlag ausgelöste großflächige Brände Treibhausgase (Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Methan und Lachgas) freisetzen. Bei Aufschlägen auf den Ozean wird Wasserdampf in die Atmosphäre geschleudert (Crutzen, 1987; Toon et al., 1994). Nach Abklingen der Trübung in der Atmosphäre führen diese Treibhausgase zu einer Erwärmung der Erdoberfläche (Kap. D 6). Allerdings sind die Folgen aus Trübung der Atmosphäre einerseits und Wärmeabsorption andererseits noch nicht absehbar. Insbesondere die Freisetzung von Stickoxiden hat einen starken Abbau der stratosphärischen Ozonschicht zur Folge. Ob sich daraus eine erhöhte Belastung der Biosphäre mit ultravioletter Strahlung ergibt, ist z. Z. noch nicht bekannt. Die durch den Impakt direkt entstehenden Stickoxide führen in der Folge auch zu saurem Regen mit entsprechenden Auswirkungen auf die Biosphäre (Kap. D 5).

Schadensausmaß

Verluste an Menschenleben durch Meteorite waren bisher nicht zu beklagen. Dies verleitet zu dem

Schluß, daß das tatsächliche Risiko für Leben und Besitz durch Meteoriteneinschläge vernachlässigbar ist und keine Maßnahmen zum Risikomanagement erfordert. Während die Eintrittswahrscheinlichkeit und die primäre Schadenshöhe zumindest theoretisch gut vorhersagbar sind, können über tatsächliche Verluste an Menschenleben und Sachwerten keine präzisen Aussagen gemacht werden. Hauptgrund hierfür ist, daß die Auswirkungen von Meteoriteneinschlägen in hohem Maß von der Vulnerabilität am Aufschlagort auf die Erde abhängig sind, der nicht vorhergesagt werden kann. Wenn das Risiko statistisch aus dem Produkt Eintrittswahrscheinlichkeit mal Schadenspotential quantifiziert wird, bedeuten Meteoriteneinschläge an der Untergrenze zur globalen Dimension (Durchmesser ca. 1,5 km; Wiederkehrintervall ca. 300.000 Jahre) das größte Risiko für die Sicherheit von Menschenleben (Morrison et al., 1994).

7.2 Typisierung von Naturkatastrophen

Wie bereits in Kap. D 7.1 dargestellt, ist bei Naturkatastrophen die Streuung des Schadenspotentials besonders groß. Sie ist nicht nur entscheidend dafür, ob eine Naturkatastrophe in ihren Ursachen und Auswirkungen globale Dimensionen erreicht, sondern auch dafür, ob international koordiniertes Handeln erforderlich ist. Deshalb kann auch die Typisierung hier nicht so scharf sein wie im Fall anderer in diesem Gutachten behandelten Risiken.

Tabelle D 7.2-1
 Anwendung der Kriterien auf das Risiko von großen Überschwemmungen (mit guter Datenlage). Es gehört zum Risikotyp Damokles. Legende s. Kasten D 2.1-1.
 Quelle: WBGU

Kriterium	Eigenschaften				
	Gering	Eher gering	Eher hoch	Hoch	Ungewiß
Eintrittswahrscheinlichkeit <i>W</i>					<input type="checkbox"/>
Abschätzungssicherheit von <i>W</i>					<input type="checkbox"/>
Schadensausmaß <i>A</i>					<input type="checkbox"/>
Abschätzungssicherheit von <i>A</i>					<input type="checkbox"/>
Ubiquität					<input type="checkbox"/>
Persistenz					<input type="checkbox"/>
Irreversibilität					<input type="checkbox"/>
Verzögerungswirkung					<input type="checkbox"/>
Mobilisierungspotential					<input type="checkbox"/>

7.2.1 Hochwasser, Erdbeben und Vulkane

Risiken aus großen Überschwemmungen mit guter Datenlage (Tab. D 7.2-1) sind dem Risikotyp Damokles zuzuordnen, Erdbeben und Vulkaneruptionen eher dem Typ Zyklon. In den meisten Gebieten ist – aus historischen Überlieferungen und der Kenntnis der hydrologischen bzw. geophysikalischen Gegebenheiten – die Risikodisposition bekannt. Die Vorhersagbarkeit von Naturereignissen und die Abschätzbarkeit der potentiellen Schadenshöhe sind aber in der Regel gering. Die Vorhersage der Eintrittswahrscheinlichkeit von Hochwasser ist von der Verlässlichkeit der Vorhersage der auslösenden Extremwetterlagen abhängig und derzeit noch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet, die mit der Länge des Vorhersageintervalls stark anwachsen. Es ist aber zu erwarten, daß hier in den kommenden Jahren erhebliche Fortschritte erzielt werden. Besonders bei Erdbeben sind nach erfolgtem Ereignis die Vorwarnzeiten für potentiell betroffene Gebiete auch bei großer Entfernung vom Erdbebenherd extrem kurz und reichen in der Regel für Maßnahmen zur Risikominderung (z. B. Evakuierungsmaßnahmen) nicht aus. Im Fall von Tsunamis ist die Möglichkeit zur Vorhersage von Zeitpunkt und Höhe einer Flutwelle schon eher gegeben.

Das potentielle Schadensausmaß von Überschwemmungen an Flüssen und im Küstenbereich ist hoch. Es kann im Prinzip vorhergesagt und der Höhe des jeweiligen Abflusses bzw. Wasserstands zugeordnet werden. Da die Abschätzung potentieller Schäden für die Planung und Bewertung von Schutzmaß-

nahmen eine wichtige Voraussetzung darstellt, besteht hier v. a. in vielen Schwellen- und Entwicklungsländern ein erheblicher Informationsbedarf. Im Fall der Hochwassergefährdung kann durch Schutzbauten (Deiche, wasserbauliche Maßnahmen an Flüssen) zwar eine lokale Verringerung der Exposition erzielt werden. Die Vergangenheit hat aber auch gezeigt, daß wasserbauliche Maßnahmen, z. B. im Oberlauf von Flüssen, zu erhöhter Exposition in anderen Bereichen führen können. Derartige Maßnahmen können daher nur bei Betrachtung des gesamten Einzugsgebiets umfassend bewertet werden. Insbesondere in wirtschaftsschwachen Ländern kann zudem die bevorzugte Besiedlung und Nutzung von wirtschaftlich attraktiven, aber potentiell überschwemmungsgefährdeten Gebieten zu einer weiteren Erhöhung der Vulnerabilität führen.

7.2.2 Meteoriteneinschläge

Die sich aus Meteoriteneinschlägen ergebenden Risiken sind dem Typ Damokles zuzuordnen (Tab. D 7.2-2). Große Meteoriteneinschläge sind sehr unwahrscheinlich, können aber im Hinblick auf ihren Zeitpunkt und ihre Größe meist gut vorhergesagt werden. Diese Prognosen sind jedoch für die Bewertung des tatsächlichen Risikos kaum geeignet, da die zu erwartende Schadenshöhe von der Vulnerabilität des Aufschlagsorts abhängt, der nicht vorhergesagt werden kann. Ab einer bestimmten Größe des kollidierenden Himmelskörpers übertrifft das Schadensausmaß von Meteoriteneinschlägen jenes aller übrigen Naturkatastrophen. Neben den unmittelbaren

Tabelle D 7.2-2
 Anwendung der Kriterien auf das Risiko von Meteoriteneinschlägen an der Grenze zu globalen Auswirkungen. Es gehört zum Risikotyp Damokles. Legende s. Kasten D 2.1-1.
 Quelle: WBGU

Kriterium	Eigenschaften				
	Gering	Eher gering	Eher hoch	Hoch	Ungewiß
Eintrittswahrscheinlichkeit <i>W</i>					<input type="checkbox"/>
Abschätzungssicherheit von <i>W</i>					<input type="checkbox"/>
Schadensausmaß <i>A</i>					<input type="checkbox"/>
Abschätzungssicherheit von <i>A</i>					<input type="checkbox"/>
Ubiquität					<input type="checkbox"/>
Persistenz					<input type="checkbox"/>
Irreversibilität					<input type="checkbox"/>
Verzögerungswirkung					<input type="checkbox"/>
Mobilisierungspotential					<input type="checkbox"/>

Aufschlagsfolgen sind bei größeren Meteoriten auch Auswirkungen auf das Weltklima und die Ernteerträge zu erwarten. Wegen des hohen Schadensausmaßes erfordern aber auch Katastrophen mit geringeren Ausmaßen Hilfs- und Kompensationsmaßnahmen auf internationaler Ebene. Im Gegensatz zu anderen Risiken des Damokles-Typs (etwa dem Risiko aus der Gewinnung von Kernenergie) ist aber das Mobilisierungspotential von Risiken durch Meteoriteneinschläge eher gering.

trächtlich bei Gruppen, die nicht direkt durch ein Naturrisiko betroffen sind oder zu sein scheinen (Beispiel: Übernahme von Kosten für Maßnahmen zur Hochwasserprävention, die nur weiter stromabwärts gelegenen Gebieten zugute kommt).

- Bestehende technische Schutzmaßnahmen (z. B. Deichbauten in hochwassergefährdeten Gebieten) verleiten die Bevölkerung zu der Illusion, daß kein Restrisiko mehr gegeben ist.

7.3 Handlungsoptionen bei Naturkatastrophen

Weil Naturkatastrophen durch den Menschen nicht verhindert werden können, ist das Mobilisierungspotential klein. Daher sind die erforderlichen Schutzmaßnahmen politisch schwer durchsetzbar. Die Gründe hierfür sind:

- Die geringe Eintrittswahrscheinlichkeit mancher Naturkatastrophen verleitet dazu anzunehmen, daß das nächste Ereignis erst in ferner Zukunft eintreten wird.
- Das hohe Schadenspotential der Naturereignisse (z. B. von Meteoriteneinschlägen) übersteigt die Vorstellungskraft vieler Menschen.
- Die Unsicherheit bei der Prognose von Naturkatastrophen verleitet dazu, ihr Gefahrenpotential zu ignorieren oder zu leugnen.
- Ein zusätzlicher „Verdrängungseffekt“ tritt dann auf, wenn seit der letzten Katastrophe längere Zeiträume verstrichen sind.
- Die Bereitschaft zu finanziellen Opfern für Maßnahmen der Risikominderung verringert sich be-

7.3.1 Hochwasser

Die im Aktionsplan Hochwasser für den Rhein festgelegten politischen Ziele (IKSR, 1998) können als Modell für das Hochwassermanagement an internationalen Flußläufen dienen, da sie die Grundlagen für einen integrierten Hochwasserschutz unter Ein-schluß technischer und organisatorischer Maßnahmen sowie Schritte zur Bewußtseinsbildung in der betroffenen Bevölkerung umfassen.

Das Management von Hochwasserrisiken umfaßt einen diagnostischen und einen operativen Schritt. Der diagnostische Schritt basiert auf der Ermittlung der Hochwassergefährdung aufgrund von meteorologischen und hydrologischen Gegebenheiten. Die Risikoermittlung ist bestrebt, die Folgen eines Hochwassers für die Sicherheit des menschlichen Lebens, die Wirtschaft und die Umwelt abzuschätzen (Plate, 1998). Der operationelle Schritt umfaßt technische Maßnahmen sowie Schritte zur Verringerung der Vulnerabilität betroffener Gebiete. Die Katastrophenhilfe, insbesondere für Entwicklungsländer,

macht internationale Anstrengungen erforderlich. Die Internationale Dekade für die Verringerung von Naturkatastrophen (IDNDR) ist von dem Bestreben geleitet, Katastrophenprävention und -hilfe auf allen Ebenen als ein Maßnahmenpaket zu betrachten und als integralen Bestandteil der nachhaltigen Entwicklung und der Entwicklungshilfe auszubauen (Kasten D 7.3-1).

Risikoanalyse

Hydrologische Grundlage der Risikoanalyse von Hochwasser ist die Bemessung von Abflußereignissen mit Hilfe statistischer Verfahren sowie Simulationsmodellen der Hochwasserentstehung. Als 2. Schritt folgt die Abschätzung von Schäden an Leben und Gütern unter Berücksichtigung ihrer Vulnerabilität. Die rechnerische Ermittlung der Beziehung zwischen Niederschlag und Abflußmenge bzw. Pegelstand ist die Grundlage für eine mechanistische Hochwasserprognose. Bei Vorliegen einer geeigneten Datenbasis erlauben Modelle auch Aussagen über Auswirkungen von Landnutzungsänderungen und über die Niederschlagsmengen und -häufigkeiten. Auf der Basis topografischer Karten können Überflutungen räumlich dargestellt und in Verbindung mit Niederschlagsprognosen grobe Vorhersagen über Hochwasserereignisse und ihr Gefährdungspotential getroffen werden (WBGU, 1998a; Plate, 1998).

Maßnahmen zur Risikominderung

Bei der Planung und Durchführung von Maßnahmen muß stets die Frage des noch akzeptablen Restrisikos berücksichtigt und mittels einer sorgfältigen Kosten-Nutzen-Analyse definiert werden. Im einzelnen sind die folgenden Maßnahmen zu unterscheiden:

- Erhöhung des Wasserrückhalts im Wassereinzugsgebiet durch Reaktivierung von Überschwemmungsgebieten, Extensivierung der Landwirtschaft, Aufforstungsmaßnahmen, Errichtung von technischen Hochwasserrückhaltungen.
- Technischer Hochwasserschutz durch Errichtung neuer sowie Wartung bestehender Deichanlagen und Anpassung an das erwünschte Schutzniveau.
- Vorsorgemaßnahmen in Planungsbereich durch Konzeption hochwasserangepaßter Nutzungsformen und Risikokarten.

Technische Lösungen setzen in erster Linie den kritischen Grenzwert für das Auftreten von Überschwemmungen herauf und damit die Eintrittswahrscheinlichkeit von Hochwasser herab. Dabei sind v. a. folgenden Tatbestände zu beachten:

- Flußdeiche verringern zwar die Hochwassergefahr, können aber bei Deichbruch zu einer Vergrößerung der Schäden führen.
- Die Errichtung von Rückhaltebecken und Pol-

dern führt zu einer Erhöhung der Wasserrückhaltung und erlaubt eine Verringerung des Risikos von kurzzeitigen Extremabflüssen mit Hochwasser. Auf lange Sicht verspricht aber die Wiedergewinnung natürlicher Überschwemmungsflächen den größten Erfolg.

- An großen Flüssen ist der Bau von Rückhaltebecken in der Regel nicht möglich. Die Regulierung des Wasserstands von Durchflußseen in ihrem Längsverlauf wäre etwa im Fall des Rheins (Wasserstandsregulierung des Bodensees) aus hydrologischer Sicht sinnvoll (Plate, 1998). Aus Gründen des Natur- und Gewässerschutzes (v. a. Uferschutz) bestehen hier jedoch erhebliche Vorbehalte.
- Die Erhaltung von Wäldern bzw. ihre Wiederherstellung erhöhen die Wasserrückhaltekapazität in Einzugsgebieten und verringert dadurch das Ausmaß von Spitzenabflüssen durch Verkleinerung des Abflußbeiwerts.
- Durch flankierende Maßnahmen kann eine Verringerung der Auswirkung von Hochwasser erreicht werden: Durch Vorwarnung können Sachschäden zwar nur begrenzt verhindert werden. Im Hinblick auf die Rettung von Menschenleben durch Evakuierungsmaßnahmen ist aber eine ausreichende Vorwarnzeit Voraussetzung für den Erfolg. Flankierend zur Hochwasserfrühwarnung muß auch eine im Ernstfall einzusetzende Katastrophenhilfe aufgebaut werden (Kasten D 7.3-2).

7.3.2

Erdbeben und Vulkanismus

Bisher gibt es noch keine universell anwendbare Methode, mit der einzelne Erdbeben zuverlässig vorhergesagt werden können. Prognosen der Eintrittswahrscheinlichkeit von Erdbeben gehen von der Analyse der Beben in der betreffenden Region während der letzten 500 Jahre aus. Die flächenhafte Verteilung des Erdbebenrisikos auf Gebiete mit unterschiedlicher Gefährdung erfolgt in Form einer seismischen Zonierung. Neben der Magnitude, der Epizentralentfernung und der Herdtiefe hängen die Auswirkungen von Erdbeben aber wesentlich von der Vulnerabilität des betrachteten Gebiets ab (Kap. E 2). Auch vulkanologische Untersuchungen erlauben lediglich Aussagen über die Wahrscheinlichkeit einer Gefährdung durch künftige Ereignisse mit bestimmter Stärke. Sie können keine genaue Auskunft über das tatsächliche Eintreffen und die Intensität der nächsten Eruption geben. Basierend auf den derzeit möglichen Verfahren bestehen für Menschen, die sich nicht in unmittelbarer Nähe eines Vulkans befinden, nach erfolgter Eruption Vorwarnzeiten von mehreren Stunden, die

Kasten D 7.3-1**Die Internationale Dekade für Katastrophenvorbeugung (IDNDR)****Naturkatastrophen und Entwicklung**

Die Anzahl der Toten infolge von Naturkatastrophen ist in den Entwicklungs- und Schwellenländern besonders hoch. Die Sachschäden betragen dort in den 80er Jahren etwa 47 Mrd. US-\$ pro Jahr und übersteigen damit deutlich die Entwicklungshilfeleistungen der westlichen Geberländer. Nach Schätzungen von USAID hätten mit einem Aufwand in Höhe der weltweiten Entwicklungshilfe etwa 70% aller Schäden aus Naturkatastrophen vermieden und eine große Zahl Menschenleben gerettet werden können. In den Industrieländern traten zwar insgesamt die größeren Sachschäden auf (Berz, 1997b), die Anzahl der Toten war aber vergleichsweise gering. Daraus ist zu erkennen, daß sich große Naturkatastrophen in reichen Ländern infolge von wirkungsvolleren Vorsorgemaßnahmen wesentlich schwächer auswirken.

Katastrophenvorbeugung als integraler Bestandteil der Entwicklungshilfe

Vor diesem Hintergrund haben die Vereinten Nationen die 90er Jahre zur Dekade für Katastrophenvorbeugung gegen Naturkatastrophen erklärt. In Genf wurden ein IDNDR-Se-

retariat und ein Wissenschaftlich-Technisches Komitee (STC) eingerichtet. Diese Initiative wurde auch von Deutschland unterstützt. Bis zum Jahr 2000 sollen alle Länder, allein oder im Rahmen regionaler Absprachen, die folgenden Maßnahmen treffen:

- Alle im Land auftretenden Gefährdungen durch natürliche Extremereignisse sollen identifiziert und in Karten dargestellt werden.
- Landesweite Pläne zur Katastrophenvorbeugung und zum Katastrophenschutz sollen erstellt werden.
- Alle Länder sollen Zugang zu globalen und regionalen Vorhersagesystemen erhalten.

Katastrophenvorsorge als gesellschaftspolitische Maßnahme

Die Wirksamkeit von Maßnahmen zum Risikomanagement ist in hohem Maß von den wirtschaftlichen Randbedingungen und einer entsprechenden Informationsbasis abhängig. Katastrophenvorbeugung hat daher auch eine starke gesellschaftliche Komponente (Clausen, 1993).

Deshalb wurde im Rahmen der IDNDR ein verstärktes Augenmerk auf die gesellschaftliche Einbindung der Katastrophenvorsorge gerichtet. Katastrophenvorbeugung wird als wichtiges Element der Entwicklungshilfe betrachtet. Dies wurde in der „Yokohama Strategie“ formuliert, die auch die Leitlinie für die Arbeit des Deutschen IDNDR-Komitees bildet (Eikenberg, 1997).

für Evakuierungsmaßnahmen genutzt werden können.

Vorhersagen von Tsunamis basieren auf Korrelationsanalysen zwischen den auslösenden geophysikalischen Ereignissen (Beben, Vulkanausbrüche) mit der Häufigkeit des Eintreffens und den Wellenhöhen von Tsunamis in gefährdeten Gebieten. Die Datenbasis für solche Korrelationen ist allerdings aufgrund der Seltenheit von Tsunamis für die meisten Regionen gering. Vorhersagen über die Ankunftszeit von Flutwellen sind wegen ihrer vergleichsweise geringen Ausbreitungsgeschwindigkeit sowie ihrer einfach vorhersagbaren linearen Ausbreitung aber prinzipiell möglich.

Eine breite Palette technischer Einrichtungen zur Analyse von Prozessen im Zusammenhang mit Erdbeben sowie bauliche Maßnahmen können wesentlich zur Verringerung von Erdbebenrisiken beitragen. Es gibt aber nur wenige Möglichkeiten, die Auswirkungen von Vulkaneruptionen auf Infrastruktur, Gebäude und Landwirtschaft zu mindern. Lavaströme lassen sich u. U. durch Barrieren umlenken, doch sind derartige Maßnahmen nur in seltenen Ausnahmefällen durchführbar.

7.3.3**Maßnahmen zur Verhinderung von Meteoriteneinschlägen**

Es bestehen bereits mehrere Asteroidensuchprogramme, die mit relativ geringen Kosten kontinuierlich Daten sammeln und austauschen (Carusi et al., 1994). Die Bahnelemente von Asteroiden und Kometen in Erdnähe mit Durchmessern von 500–1.000 m können überwiegend durch bereits bestehende Beobachtungssysteme mit ausreichender Sicherheit auch aus großen Entfernungen bestimmt werden, wodurch lange Vorwarnzeiten für Kollisionen gegeben sind. Viele, besonders kleinere Objekte können jedoch erst aus wesentlich geringeren Entfernungen mit entsprechend kurzer Vorwarnzeit festgestellt werden. Wegen der gegebenen Größen-Häufigkeits-Verteilung von Asteroiden handelt es sich aber bei ihnen um jene Objekte, die mit der größten Wahrscheinlichkeit zu erwarten sind.

Um das Auftreffen eines Objekts mit Kollisionskurs auf die Erde zu verhindern, muß seine Flugbahn verändert werden. Obwohl es bereits konkrete Vorstellungen über technische Verfahren zur Verhinderung von Meteoriteneinschlägen gibt, bestehen noch beträchtliche Zweifel über ihre technische Durchführbarkeit (Weissman, 1994). Mit Hilfe raketentragender Sprengsätze oder durch Laserquellen kann ein Bewegungsimpuls erzeugt werden, der das Objekt ablenken soll. Allerdings wird von manchen Ex-

Kasten D 7.3-2

Die Lehren aus dem Oderhochwasser von 1997

Das Hochwasser an der Oder im Sommer 1997 hat viele Probleme aufgezeigt, die bei Bestrebungen zur Minderung von Hochwasserschäden in Zukunft beachtet werden sollten.

- Ein wesentlicher Faktor für die katastrophalen Auswirkungen dieses Hochwassers war neben den meteorologischen Gegebenheiten (die keinesfalls außergewöhnlich waren) der Umstand, daß die Dammbauten an der Oder nicht vorrangig mit dem Ziel des Hochwasserschutzes errichtet worden waren. Das wesentlich geringere Schadensausmaß auf deutschem Gebiet ist u. a. auf bessere Schutzbauten und wirkungsvollere Maßnahmen des Risikomanagements zurückzuführen.
- Unter den schwierigen ökonomischen Bedingungen, v. a. auf polnischer Seite, wurden in der Vergangenheit stark hochwassergefährdete Gebiete besiedelt und wirtschaftlich genutzt. Auf diese Weise wurde das Risikopotential infolge der Erhöhung der Vulnerabilität der gefährdeten Areale erheblich gesteigert.
- Die Unterschiede in der Bewertung des Hochwassers im Längsverlauf sowie zwischen den 3 Anliegerstaaten sind v. a. auf die tatsächlichen Unterschiede in der Ausprägung des Hochwassers im Längsverlauf des Flusses sowie auf verschiedene Verfahren der Quantifizierung und Maßstäbe bei der Bewertung des Hochwassers in Deutschland, Polen und Tschechien zurückzuführen.

Hochwassermanagement als integrative und multinationale Aufgabe

Hochwasserschutz muß einen integralen Bestandteil der Wasserwirtschaft, Raumplanung, Land- und Forstwirtschaft sowie des Naturschutzes darstellen. Bei grenzüberschreitenden Planungen zum Management des Hochwasserrisikos sind die unterschiedlichen wirtschaftlichen und administrativen Rahmenbedingungen in den Anliegerstaaten zu berücksichtigen. Die folgenden Ziele sind dabei vordringlich:

- *Erhöhung der Wasserrückhaltung:* Neben den historisch entstandenen Laufverkürzungen spielen Waldschäden in den Kammlagen der Sudeten und Beskiden eine erhebliche Rolle für die Beschleunigung des Abflusses und damit für die Häufung von Höchstwasserständen. Zur Minderung ihrer Wirkung könnten, neben weiteren technischen Maßnahmen wie dem Bau von Rückhaltebecken und Speichern, Altarme der Oder und ihrer Nebenflüsse reaktiviert sowie Ursache und Wirkung der Waldschäden beseitigt werden. Damit würden zusätzlich auch ökologische Zielsetzungen erfüllt.
- *Internationalisierung von Hochwasserprognose und Hochwasserschutz:* Besondere Bedeutung besitzen die problem- und aufgabengerechte Verbesserung bzw. Aktivierung der länderübergreifenden Hochwasservorhersagemodelle und -systeme. Essentielle Voraussetzung dafür sind ausreichende und vergleichbare Primärdaten über Pegelstände und Abflußmengen. Im Rahmen des verbesserten regionalen Hochwasserrisikomanagement an der Oder gilt es v. a., die regionalen Hochwassermodele zu harmonisieren, den Zeitvorsprung bei der Vorhersage zu vergrößern sowie die Wirksamkeit durchzuführender bzw. durchgeführter Hochwasserschutzmaßnahmen ständig zu überprüfen.
- *Harmonisierung unterschiedlicher Planungsziele:* Deutschland hat seine Handlungsziele im „Aktionsplan Hochwasser Oder“ formuliert. So sollen die Möglichkeiten der flächenhaften Wasserrückhaltung durch Sicherung vorhandener und Wiedergewinnung ehemaliger Überschwemmungsflächen genutzt und die Bemessungskriterien der Hochwasserschutzanlagen zur Begrenzung der Schäden entsprechend der Schutzwürdigkeit festgelegt werden. Alle Planungsziele sollen sich so weit wie möglich positiv auf den Naturreichtum in den Talauen und Nebenflüssen auswirken. Das polnische Vorhaben „Oder 2000“ zur Entwicklung der Oder als Wasserstraße (Bau von Staustufen, Modernisierung von Schleusen und Wehren, Stromregelung, Bau des Speichers Ratibor) sollte hingegen noch in ein internationales Konzept eingebunden werden.

perten eine Erhöhung des Risikopotentials für den Fall befürchtet, daß hierdurch der Meteorit nicht abgelenkt, sondern zertrümmert werden würde (Ahrens und Harris, 1994; Shafer et al., 1994).

Diese Synopse bietet einen zusammenfassenden und vergleichenden Überblick über alle in diesem Kapitel behandelten globalen Umweltrisikopotentiale. Der Überblick konzentriert sich dabei auf die Zuordnung zu den Risikotypen (Abb. D 8-1) und auf die den jeweiligen Risikotyp kennzeichnenden Kriterien, deren Eigenschaften sowie die dem Risikotyp zugeordneten globalen Umweltrisiken (Tab. D 8-1). Der Beirat hat insgesamt 24 globale Risiken exemplarisch ausgewählt und nach Risikotypen klassifiziert. Natürlich gibt es noch viel mehr globale Risiken pro Typ. Die hier behandelten Risiken sind damit charakteristische Vertreter eines bestimmten Risikotyps.

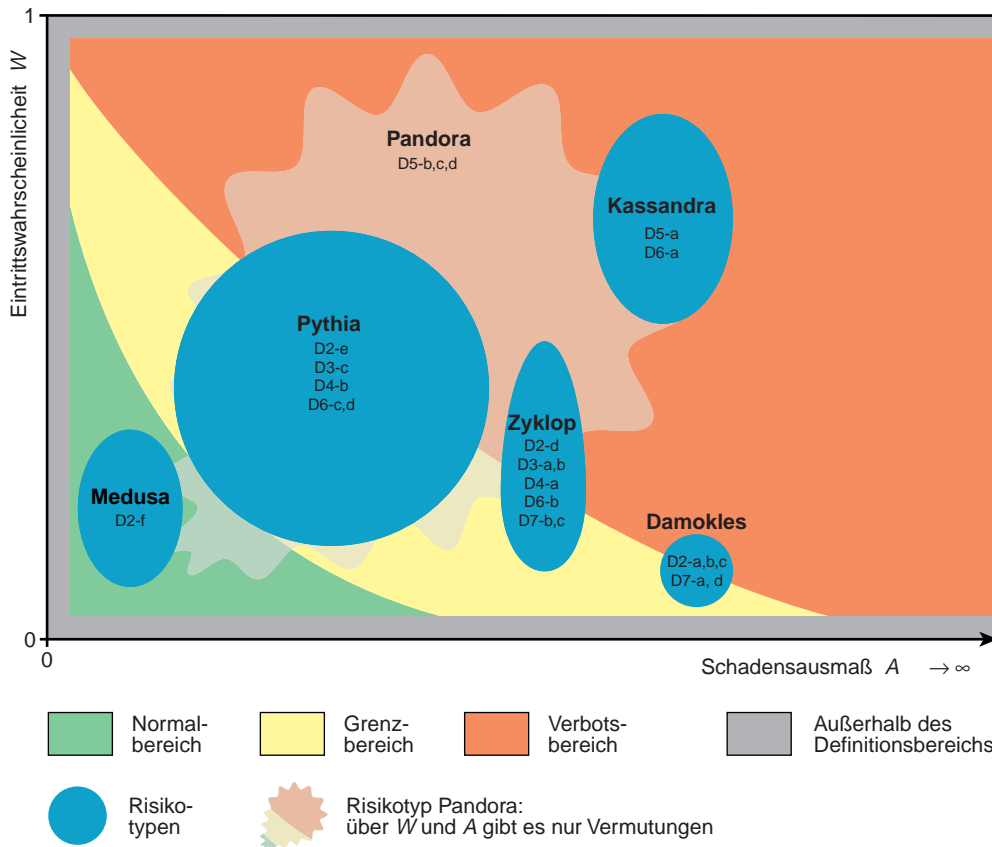
Über diese in diesem Kapitel angesprochenen Risiken des Globalen Wandels hinaus behandelt der Beirat im folgenden Kap. E die Risikopotentiale komplexer Umweltsysteme anhand der Syndromanalyse (Kap. E 4.2). Als Beispiele für komplexe Risiken werden in den Kap. E 3.1 und E 3.2 die globale Gesundheitskrise und die Risiken der Ernährungssicherung angesprochen.

Der zusammenfassende Vergleich der Kap. D zeigt, daß viele Risiken jenen Risikotypen zugeordnet werden müssen, in denen in einem oder in beiden der 2 wichtigsten Kriterien, nämlich Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß, Ungewißheit besteht. So ist der Risikotyp Pythia dadurch gekennzeichnet, daß sowohl in der Eintrittswahrscheinlichkeit als auch im Schadensausmaß Ungewißheit herrscht. Beim Risikotyp Zyklon bleibt die Eintrittswahrscheinlichkeit ungewiß. Beim Typ Pandora bestehen nur Vermutungen hinsichtlich Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß. Beim Risikotyp Damokles besteht in den wichtigen Kriterien Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß zwar keine Ungewißheit, aber gerade das Schadensausmaß kann bei einem, wenn auch sehr unwahrscheinlichen Schadenseintritt, sehr hoch werden.

Der Überblick illustriert, daß gerade die 3 Risikotypen Pythia, Zyklon und Damokles, denen die überwiegende Mehrheit der hier behandelten globalen Risiken zugeordnet wird, nicht nur im Grenzbereich liegen, sondern auch in den Verbotsbereich hinein-

reichen. Risiken im Verbotsbereich sollten unter allen Umständen reduziert werden, wobei von den hier behandelten Risiken von Fall zu Fall bewertet und entschieden werden muß, ob sie sich noch im Grenzbereich oder im nicht akzeptablen Verbotsbereich befinden. Lediglich die dem Risikotyp Cassandra zugeordneten globalen Risiken des „anthropogenen Klimawandels in vulnerablen Räumen“ und der „Destabilisierung von Ökosystemen durch Eingriffe in Stoffkreisläufe“ liegen zweifelsfrei im Verbotsbereich. Das Risiko der persistenten organischen Schadstoffe (POPs) liegt ebenfalls im Verbotsbereich, es ist aber dem Risikotyp Pandora zugeordnet, weil anfänglich nur Vermutungen über die globale Relevanz bestanden und erst im nachhinein bestätigt wurden.

Bei den Risiken vom Typ Pythia und Zyklon ist durch Ungewißheit bei der Eintrittswahrscheinlichkeit oder beim Schadensausmaß die Abschätzungssicherheit im Grenzbereich gering, aber es liegen plausible Vermutungen vor, daß ein großes Schadensausmaß auftreten kann. Wenn ein begründeter Verdacht vorliegt, daß hohe Schäden auftreten können, sind zumeist Persistenz, Ubiquität und Irreversibilität in besonderem Maß als Kriterien relevant. Im Grenzbereich ist oft eine gültige und verlässliche wissenschaftliche Risikoabschätzung kaum möglich, so daß Strategien der Risikopolitik einerseits zur Auflösung der Ungewißheiten und andererseits zur Reduzierung eines möglichen hohen Schadensausmaßes beitragen müssen.



Beispiele für Risiken (nach Buchkapiteln geordnet)

D2 Technologische Risiken

- D2-a Kernenergie
- D2-b Großchemische Anlagen
- D2-c Staudämme
- D2-d Frühwarnsysteme von Nuklearwaffen und ABC-Waffensysteme
- D2-e Bestimmte Anwendungen der Gentechnologie
- D2-f Elektromagnetische Felder

D3 Seuchen als globale Gesundheitsrisiken

- D3-a AIDS-Infektion
- D3-b Influenza-A-Infektion
- D3-c BSE/nv-CJD-Infektion

D4 Umweltrisiken durch Organismen

- D4-a Massenentwicklung anthropogen beeinflusster Arten
- D4-b Freisetzung und Inverkehrbringen transgener Pflanzen

D5 Stoffrisiken

- D5-a Destabilisierung terrestrischer Ökosysteme
- D5-b Persistente organische Verbindungen
- D5-c Endokrin wirksame Stoffe

D6 Klimarisiken

- D6-a Anthropogener schleichender Klimawandel
- D6-b Zusammenbruch der thermohalinen Zirkulation
- D6-c Sich aufschaukelnder Treibhauseffekt
- D6-d Instabilität der westantarktischen Eisschilde

D7 Risiken aus Naturereignissen

- D7-a Überschwemmungen
- D7-b Erdbeben
- D7-c Vulkaneruptionen
- D7-d Meteoriteneinschläge

Abbildung D 8-1

Synopse.
Quelle: WBGU

Tabelle D 8-1

 Die Risikotypen im Überblick: Charakterisierung und Beispiele, *W* Eintrittswahrscheinlichkeit, *A* Schadensausmaß.

Quelle: WBGU

Risikotyp	Charakterisierung	Beispiele
Damokles	<i>W</i> gering (gegen 0) Abschätzungssicherheit von <i>W</i> hoch <i>A</i> hoch (gegen unendlich) Abschätzungssicherheit von <i>A</i> hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Kernenergie (D2-a) • Großchemische Anlagen (D2-b) • Staudämme (D2-c) • Überschwemmungen (D7-a) • Meteoriteneinschläge (D7-d)
Zyklop	<i>W</i> ungewiß Abschätzungssicherheit von <i>W</i> ungewiß <i>A</i> hoch Abschätzungssicherheit von <i>A</i> eher hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Erdbeben (D7-b) • Vulkaneruptionen (D7-c) • AIDS-Infektion (D3-a) • Massenentwicklungen anthropogen beeinflusster Arten (D4-a) • Zusammenbruch der thermohalinen Zirkulation (D6-b)
Pythia	<i>W</i> ungewiß Abschätzungssicherheit von <i>W</i> ungewiß <i>A</i> ungewiß (potentiell hoch) Abschätzungssicherheit von <i>A</i> ungewiß	<ul style="list-style-type: none"> • Sich aufschaukelnder Treibhauseffekt (D6-c) • Freisetzung und Inverkehrbringen transgener Pflanzen (D4-b) • BSE/nv-CJD-Infektion (D3-c) • Bestimmte Anwendungen der Gentechnologie (D2-e) • Instabilität der westantarktischen Eisschilde (D6-d)
Pandora	<i>W</i> ungewiß Abschätzungssicherheit von <i>W</i> ungewiß <i>A</i> ungewiß (nur Vermutungen) Abschätzungssicherheit von <i>A</i> ungewiß) Persistenz hoch (mehrere Generationen)	<ul style="list-style-type: none"> • Persistente organische Schadstoffe (POP) (C5-b) • Endokrin wirksame Stoffe (D5-c)
Kassandra	<i>W</i> eher hoch Abschätzungssicherheit von <i>W</i> eher gering <i>A</i> eher hoch Abschätzungssicherheit von <i>A</i> eher hoch Verzögerungswirkung hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Anthropogener schleichender Klimawandel (D6-a) • Destabilisierung terrestrischer Ökosysteme (D5-a)
Medusa	<i>W</i> eher gering Abschätzungssicherheit von <i>W</i> eher gering <i>A</i> eher gering (Exposition hoch) Abschätzungssicherheit von <i>A</i> eher hoch Mobilisierungspotential hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Elektromagnetische Felder (D2-f)

1.1

Einleitung

Risiken können für die Menschen in Form eines Unglücks oder Unfalls zu bedrohlichen Ereignissen werden. Dabei gibt es unterschiedliche Faktoren, wie den Menschen selbst, seine institutionellen Regelungen oder die Verwundbarkeit technologischer Systeme, welche die Eintrittswahrscheinlichkeit, das Ausmaß, die Wahrnehmung, die Bewertung und die Bewältigung von Risiken beeinflussen. Die Risikoforschung hat ursächliche Strukturen entdeckt, die für die Risikohandhabung, das Ereignis und die Konsequenzen von entscheidender Bedeutung sind.

Dabei ist es zunächst wichtig, zwischen Ereignissen und Konsequenzen zu unterscheiden. Tritt ein Risiko als Ereignis ein, wird es erst dann für den Menschen und die Umwelt zu einer Bedrohung, wenn die Konsequenzen von den Menschen als Schädigung bewertet werden. So kann beispielsweise das Feuer bei Wald- und Flächenbränden durchaus eine natürliche Funktion in Ökosystemen haben, die für den Menschen oder die Natur keine bedrohlichen Konsequenzen bedeuten müssen. Brände können aber auch anthropogen verursacht oder verstärkt werden, um etwa Bewirtschaftungs- und Nutzungsfläche zu gewinnen. Hierdurch können Menschenleben und Gesundheit gefährdet und Ökosysteme geschädigt werden, wobei das Problem auftritt, daß die Schädigungen unabhängig vom Verursacher sind, wie z. B. bei den Waldbränden in Indonesien.

Oft lösen mehrere gleichzeitige Ereignisse, die jedes für sich genommen womöglich keine größere Bedrohung darstellen, ein Ergebnis aus, das in seinen Konsequenzen für die Menschen und die Umwelt zur Bedrohung wird.

Am Beispiel „großflächige Waldbrände in Indonesien“ läßt sich dies weiter veranschaulichen. Dort sind es mehrere Ereignisse, die das Ergebnis auslösen. Zum einen macht das natürliche Phänomen El Niño durch die Trockenheit die Waldbrände erst möglich und gibt die Windrichtung vor. Zum anderen sind es fast ausschließlich Menschen, die Feuer legen,

weil sich z. B. Bauern durch Brandrodungen neue Nutzungsflächen erschließen wollen, illegaler Holzeinschlag vertuscht werden soll oder Spekulanten günstigeres Land zum Erwerb erhoffen. Bei den Konsequenzen gibt es ebenfalls unterschiedliche Dimensionen, da Menschen und Ökosysteme gleichermaßen geschädigt werden. Die Funktion des Urwalds als CO₂-Senke oder die biologische Vielfalt werden beeinträchtigt, die Menschen haben Atembeschwerden und erleiden sogar Rauchvergiftungen. Die dichten Rauchschwaden haben auch dazu beigetragen, daß Schiffe kollidierten und Flugzeuge abstürzten. Abb. E 1.1-1 zeigt, daß zwischen den Stufen „Pfade“ liegen, an denen anzusetzen ist, um Risiken zu kontrollieren und zu bewältigen.

Dieses einfache Schema muß für den Bereich der technischen Risiken ergänzt und verfeinert werden. Hohenemser et al. (1985) haben bei technischen Risiken 7 Stufen einer ursächlichen Reihenfolge bzw. Kette identifiziert. In Abb. E 1.1-2 werden nicht nur die 7 Stufen der „Risikokette“ bei technologischen Systemen dargestellt, sondern auch die Möglichkeiten und Ansatzpunkte gezeigt, wodurch das Risikopotential kontrolliert und verringert, die Eintrittswahrscheinlichkeit eines bedrohlichen Ereignisses reduziert oder gar verhindert und das Ausmaß sowie die Konsequenzen vermindert werden können. Damit wird auch deutlich, daß eine Wechselwirkung zwischen Ereignis und menschlichem Verhalten besteht. Die Darstellungen einfacher „Risikoketten“ geben natürlich nicht die Komplexität der Realität wieder, viele Details werden nicht berücksichtigt. Im allgemeinen haben komplexe Risikoketten eine Baumstruktur. So können beispielsweise schon einfache Techniken mehrere bedeutende Ergebnisse hervorrufen. Wichtig ist die hinter der Ursachenkette stehende Logik, die zwischen Ereignissen und Konsequenzen unterscheidet und die Möglichkeit zur Kontrolle und Bewältigung bietet. Gibt es keine Kontrollen und Bewältigungsstrategien, die zwischen den einzelnen Stufen ansetzen oder einzelne Ereignisse bekämpfen, können das Zusammenkommen mehrerer Ereignisse oder die Aneinanderreihung mehrerer Ursachen die Eintrittswahrscheinlichkeit,

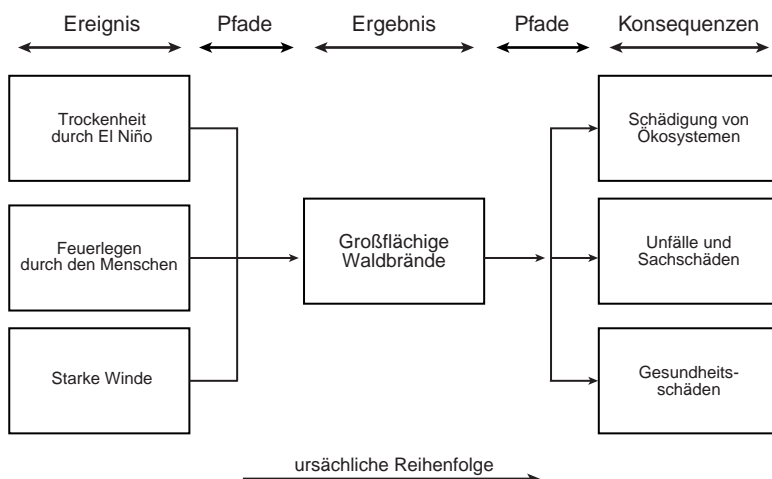


Abbildung E 1.1-1
Ereignisse und Konsequenzen am Beispiel der Waldbrände in Indonesien 1997.
Quelle: WBGU

das Ausmaß und die Auswirkungen des Risikos verstärken.

Die in diesem Kapitel vorgestellten Faktoren, die zur Verstärkung oder Abschwächung von Risiken beitragen, setzen an bestimmten Punkten der Ursachenkette an. So sind individuelle Risikoverstärker und -abschwächer u. a. bei den menschlichen Bedürfnissen und Ansprüchen zu finden oder bei der Wahl der Technologie, die beispielsweise in der politischen Beteiligung eine Rolle spielen könnte. Die Verstärkung oder Abschwächung von Risiken durch Organisationen und ihre Systeme betreffen v. a. die Stufen, die nach der „Wahl der Technologie“ folgen. Institutionelle Regelungen spielen hingegen dann eine Rolle, wenn es darum geht, Vorkehrungen, überge-

ordnete Warnsysteme, Schutz- und Gegenmaßnahmen einzurichten, um das Ereignis, dessen Ergebnis und die daraus resultierenden Konsequenzen zu bewältigen.

Am Beispiel der Kernenergie lassen sich die Stufen der Kette illustrieren. In der modernen Gesellschaft brauchen die Menschen immer mehr Energie. Die Menschen wünschen sich eine „saubere“ und langfristige Energieversorgung. Im Zeitalter der Ökologie soll die Erzeugung dieser Energie nicht-regenerierbare Ressourcen schonen und nicht zur Steigerung der CO₂-Emissionen beitragen. Da die Kernenergie die steigenden Bedürfnisse und die anspruchsvollen ökologischen Wünsche der Menschen zumindest in diesem Punkt erfüllen kann, könnte

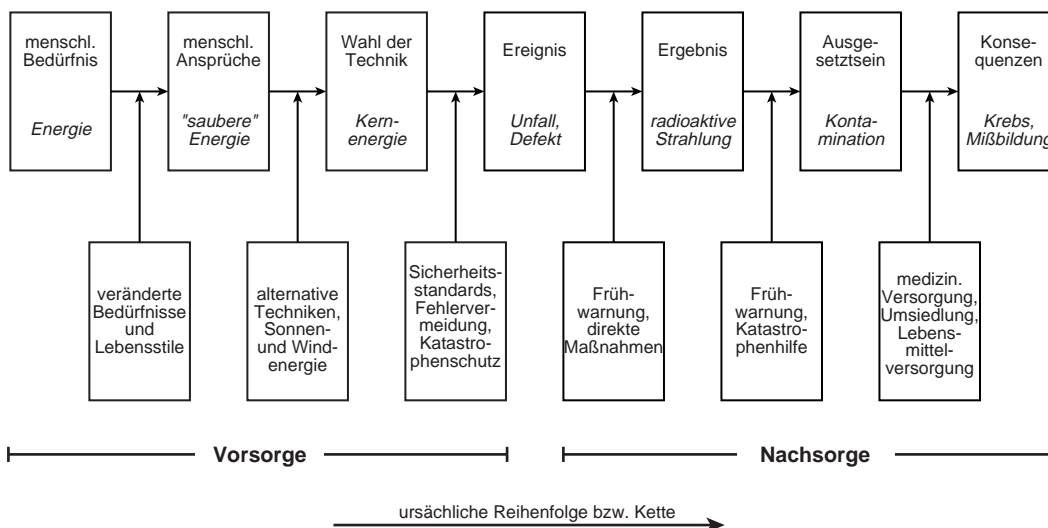


Abbildung E 1.1-2
7 Stufen einer „Risikokette“ am Beispiel der Kernenergie.
Quelle: WBGU (nach Hohenemser et al., 1985)

man diese Technologie wählen. Das auslösende Ereignis kann nun ein Reaktorunfall oder ein technischer Fehler sein. Das Ergebnis ist die Freisetzung radioaktiver Strahlung. Die in der Nachbarschaft des Kernkraftwerks wohnenden Menschen sind in solchen Fällen zumindest eine gewisse Zeit unmittelbar der Strahlung ausgesetzt, sofern sie nicht schon evakuiert werden konnten. Weiter entfernt lebende Menschen können auch betroffen sein, indem sie kontaminierte Nahrung zu sich nehmen, wie der Fall Tschernobyl gezeigt hat. Für die Menschen sind die Konsequenzen erhebliche gesundheitliche Schädigungen, wie z. B. akute Verstrahlungen, Krebs, Mißgeburten, Veränderungen des Erbguts usw. Die Umwelt wird radioaktiv verseucht.

Die Bewältigung des Risikos eines Kernkraftwerks kann nun an verschiedenen Punkten, wie Abb. E 1.1-2 exemplarisch darstellt, ansetzen. Auf der individuellen Ebene können die menschlichen Bedürfnisse so verändert werden, daß „neue“ Lebensstile weniger Energie erfordern. Die menschlichen Ansprüche können auf alternative Technologien, wie z. B. Wind- oder Sonnenenergie, gelenkt werden, die dem Wunsch nach einer ökologisch verträglichen und langfristigen Energieversorgung womöglich noch gerechter werden. Diese „neuen“ individuellen Ansprüche könnten dann in den politischen Entscheidungsprozeß einfließen, wenn es um die Wahl der Technologie geht. Auf der organisatorischen Ebene kann das Betriebsmanagement höhere Sicherheitsstandards einrichten und intelligentere Strategien zur Fehlervermeidung entwickeln, um die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Unfalls oder eines Defekts zu senken. Wenn dann tatsächlich ein bedrohliches Ereignis eintritt, müßten Bewältigungsstrategien, wie z. B. betriebliche Frühwarnung, präventiver Strahlenschutz oder direkte Gegenmaßnahmen, greifen, um die Freisetzung von Radioaktivität zu verhindern oder zumindest zu verringern. An diesem und sogar am Punkt zuvor setzen aber auch institutionelle Regelungen durch Behörden sowohl national als auch international an. Nationale Aufsichtsbehörden oder internationale Organisationen wie die IAEA sollten nicht nur Auflagen zu Sicherheitsstandards und Fehlervermeidungsstrategien überprüfen, sondern auch Standards für präventiven Unfallschutz oder direkte Hilfsaktionen vorgeben und Frühwarnsysteme einrichten. Institutionelle Regelungen und eine gut funktionierende Infrastruktur für direkte Katastrophenhilfe sind notwendig, wenn Menschen einer bedrohlichen Dosis an radioaktiver Strahlung ausgesetzt sind. Das schließt eine unmittelbare, aber auch nachsorgende medizinische Hilfe, Evakuierungen und Umsiedlungen, Nahrungsmittelversorgung usw. ein. Je besser und schneller die di-

rekten Hilfsmaßnahmen greifen, desto geringer sind die langfristigen Konsequenzen.

Die Beschreibung der „Risikokette“ hat gezeigt, daß die Entwicklung eines Risikos eine ursächliche Reihenfolge durchläuft, wobei in der Regel das Zusammenspiel mehrerer Ursachen die Risiken verstärkt und so zum bedrohlichen Ereignis führen. Das Ereignis wiederum ist kein einzelnes Vorkommnis, sondern setzt sich meist aus verschiedenen gleichzeitig aufeinandertreffenden Ereignissen zusammen. Die sich daraus ergebenden Konsequenzen sind vielfältig. Die „Risikokette“ veranschaulicht auch, wann Kontrollmechanismen und Bewältigungsstrategien anzusetzen sind, um die verstärkende Wirkung von Ursachen oder Ereignissen abzubremser. Nach Hohenemser et al. (1985) ist ein Risikomanagement notwendig, das die Gesellschaft über Risiken informiert, entscheidet was zu tun ist und geeignete Maßnahmen zur Kontrolle einsetzt oder die Konsequenzen mindert. Ein derartiges Risikomanagement, das auf die „Risikokette“ in Abb. E 1.1-2 bezogen ist, umfaßt 4 wesentliche Elemente, die jeweils mehrere Schritte vorsehen:

Risikobewertung

- Risiken identifizieren
- Prioritäten festlegen
- Risiken abschätzen
- Soziale Werte bewerten

Kontrollanalyse

- Toleranzfähigkeit beurteilen
- Kontrollwerkzeuge erkennen
- Methoden der Umsetzung abschätzen
- Kostenverteilung bewerten

Strategieauswahl

- Risiko akzeptieren
- Risiko verteilen
- Risiko reduzieren
- Risiko abschwächen

Durchführung und Bewertung

- Kontrolleingriffe durchführen
- Methoden ergänzen
- Output bewerten
- Folgen bewerten

1.2 Soziokulturelle und individuelle Risikoverstärker

1.2.1 Einleitung

Warum reagieren Menschen auf ein und dasselbe Risiko unterschiedlich? Warum wollen einige ein für andere so offensichtliches Risiko nicht ernst nehmen? Warum werden manche Risiken von den Medien verstärkt aufgegriffen, andere aber kaum beachtet?

Verschiedene Menschen nehmen oft ein und dasselbe Risiko sehr verschieden wahr und gehen damit entsprechend anders um. Für diese unterschiedliche Wahrnehmung und Bewertung gibt es eine Reihe von Gründen. So sind beispielsweise kulturelle Traditionen, bisherige Erfahrungen, die Lebensumstände, emotionale und kognitive Verarbeitungsstile sehr verschieden. Zudem gibt es unterschiedliche soziale Rollen (z. B. „Experte“, „Betroffener“) oder spezifische Umstände, die zu einer jeweils anderen Perspektive bei der Beurteilung eines Risikos führen. Wenn nun aber verschiedene Personengruppen ganz unterschiedliche Auffassungen darüber haben, was als Risiko zu bewerten ist und v. a., wie damit umgegangen werden soll, läßt sich argumentieren, daß es in Wirklichkeit gar nicht ein und dasselbe Risiko für alle gibt. Ein Risiko läßt sich letztlich nicht objektiv bestimmen, es hat für verschiedene Beobachter(gruppen) ganz andere Bedeutungen (Johnson und Covello, 1987; Wiedemann et al., 1991). Welche Beobachtergruppe die „richtige“ Einschätzung vorgenommen hat, bleibt oft ungeklärt.

Im folgenden sollen einige der soziokulturellen, personalen und kognitiven Faktoren, die für die Einschätzung eines Risikos eine Rolle spielen, genauer vorgestellt werden. Zunächst geht es um die Kultur einer Gesellschaft. Sie stellt den grundlegenden Rahmen dar, in dem Menschen die Welt erleben und in dem sie handeln (Kap. E 1.2.2.1). Innerhalb einer Kultur entwickeln sich verschiedene Subkulturen, die durch die jeweilige soziale Gemeinschaft getragen und weiterentwickelt werden (Kap. E 1.2.2.2). Das Erleben von Individuen wird durch die Subkultur ihrer Bezugsgruppe beeinflusst, außerdem ist eine Reihe individueller Faktoren für die Einschätzung von Ereignissen relevant (Kap. E 1.2.4). Diese Faktoren können die unmittelbare soziale Gemeinschaft ebenfalls beeinflussen und verändern. Die Einteilung in individuelle und soziale Faktoren ist daher nicht immer trennscharf. Einfluß auf das Erleben von Individuen und Gruppen haben auch Medien, die natürlich auch Bestandteil der Kultur sind, aber geson-

dert berücksichtigt werden (Kap. E 1.2.3). Im Überblick sind die Faktoren in Abb. E 1.2-1 dargestellt.

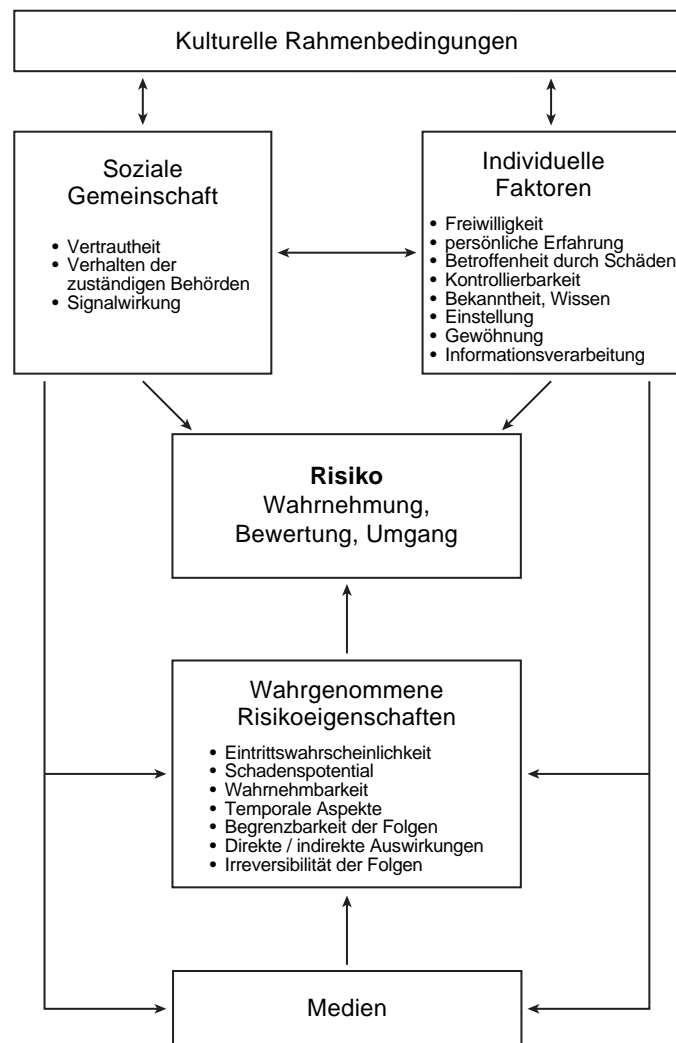
1.2.2 Kulturelle und soziale Faktoren

1.2.2.1 Kulturelle Rahmenbedingungen

Für die Einschätzung von Risiken und das Verhalten in Risikosituationen sind kulturelle Überzeugungssysteme, die darin enthaltenen Wertvorstellungen wie auch soziale Rollen maßgeblich. Das kulturelle Glaubenssystem beschreibt sehr umfassend die kollektiven Vorstellungen darüber, wie die Welt funktioniert (Douglas und Wildavsky, 1982; Rayner, 1992). Diese kollektiven Vorstellungen werden auch als soziale Repräsentationen bezeichnet, da sie sozial hergestellte „Abbildungen“ der Welt beinhalten. Soziale Repräsentationen beschreiben das in einer Gruppe geteilte Wissen über „Fakten“ und „Ereignisse“ (z. B. was als Beleidigung gilt, wie ein Streit geführt wird, ob der Wald stirbt usw.), das es Menschen ermöglicht, Situationen einzuschätzen, sie zu bewerten und daraufhin zu handeln. Dieses Wissen wird durch kommunikative Prozesse (interpersonale Kommunikation, Medien) weitergetragen, stabilisiert und verändert (Wagner, 1994).

Um den Umgang mit Risiken verstehen zu können, ist es notwendig, den soziokulturellen Hintergrund mit zu berücksichtigen. Damit sind nicht nur grobe Unterscheidungen zwischen „westlichen“ und „östlichen“ Kulturen, verschiedenen Religionen oder Nationen gemeint; vielmehr können für verschiedene Gruppen beispielsweise innerhalb der westlichen Kultur oder innerhalb einer Nation verschiedene soziale Repräsentationen (Subkulturen, gruppenspezifisch geteiltes Wissen) gelten. So sind die in tornadogefährdeten Regionen Alabamas lebenden Personen zum großen Teil davon überzeugt, daß es von Gott oder vom Glück abhängt, was mit ihnen geschieht. Bewohner von Illinois dagegen, die einer ähnlichen Bedrohung ausgesetzt sind, glauben, daß v. a. ihr eigenes Verhalten zu ihrem Schicksal beiträgt. Sie führen dementsprechend Schutzmaßnahmen durch, mit dem Resultat, daß die Zahl der Todesfälle bei Sturmkatastrophen in Illinois wesentlich geringer als in Alabama ist (Sims und Baumann, 1972). Auf diese Unterschiede, die sich zwischen verschiedenen sozialen Gemeinschaften ergeben, wird noch genauer eingegangen (Kap. E 1.2.2.2). Häufig wird der Begriff Kultur jedoch mit unterschiedlichen Nationen in Verbindung gebracht. Mit dieser Betrachtungsweise wird eine relativ grobe Korngröße

Abbildung E 1.2-1
Übersicht soziokultureller,
sozialer und individueller
Risikoverstärker.
Quelle: WBGU



der Analyse gewählt, die für bestimmte Fragestellungen durchaus angemessen sein kann. Bei einer genaueren Analyse lassen sich jedoch jederzeit weitere Subkulturen oder Gruppen differenzieren.

In den meisten kulturvergleichenden Risikostudien wurde diese grobe Korngröße für die Analyse gewählt, in dem z. B. die Risikoeinschätzung von Amerikanern mit der von Japanern verglichen wurde oder die von Australiern mit der von Deutschen (Rohrman, 1995a). Oft werden den Probanden Fragebögen vorgelegt, in denen sie auf mehrstufigen Skalen ihre Bewertung von verschiedenen Risikoaspekten vermerken (Slovic et al., 1986). Zu diesen Aspekten gehören etwa die Kontrollierbarkeit von Risiken, die Freiwilligkeit der Aussetzung, die Schrecklichkeit möglicher Unfälle, das Katastrophenpotential usw. (Kap. E 1.2.4). Die gefragte Einschätzung bezieht sich in der Regel auf eine große Bandbreite von Risiken: neben Technik- und Natur-

risiken wird auch nach solchen gefragt, die durch sportliche Aktivitäten, einen bestimmten Lebensstil oder berufliche Tätigkeiten bedingt sind. Die Vergleichbarkeit der Studien ist aufgrund methodischer Probleme nicht ohne weiteres gegeben, so daß Aussagen wie z. B. „weltweit akzeptieren Indonesier die meisten Risiken“ nicht getroffen werden können und auch nicht sinnvoll sind.

In den Studien zeigen sich im direkten Vergleich teilweise Unterschiede in der Einschätzung der Größe von Risiken. Japaner halten viele Risiken für unkontrollierbarer und schrecklicher und schätzen auch die Größe des Katastrophenpotentials höher ein als Amerikaner (Kleinhesselink und Rosa, 1991). In einer neueren Studie zeigte sich allerdings, daß sich beide hinsichtlich der Einschätzung der Kontrollierbarkeit der abgefragten Risiken kaum unterscheiden. Ein Unterschied ergab sich jedoch bezüglich der nuklearen Risiken. Sie werden zwar von Ja-

panern tendenziell für größer gehalten, aber auch die Freiwilligkeit der Übernahme des Risikos wird höher eingeschätzt als von den Amerikanern (Hinman et al., 1993).

In einer vergleichenden Fragebogenstudie chinesischer und australischer Probanden wurde gezeigt, daß die Chinesen die Höhe des Risikos für Radfahren und lebensstilbedingte Gesundheitsrisiken (Rauchen usw.) geringer einschätzen. Bei fast allen anderen abgefragten Risiken zeigen sie aber eine geringere Akzeptanz als die Australier. In Bezug auf Natur- und Technologierisiken sind kaum Unterschiede festzustellen. Den sozialen Nutzen von Kernenergie schätzen die Chinesen allerdings viel positiver ein als Australier (Rohrman und Renn, 1998).

Sofern es in den Studien Teil der Fragestellung war, zeigte sich, daß Unterschiede zwischen verschiedenen sozialen Gruppen (z. B. differenziert nach eher „technologischen“ vs. „ökologischen“ Werthaltungen) innerhalb eines Landes oft größer sind als zwischen den verschiedenen Ländern (Rohrman, 1995a).

Wie in allen Studien hängen die Ergebnisse maßgeblich davon ab, welche Fragen gestellt und welche Parameter berechnet wurden. Differenzierte kulturelle Unterschiede können mit Hilfe von standardisierten Fragebögen nur schlecht festgestellt werden. Es lassen sich allenfalls Tendenzen herausarbeiten. Ein Beispiel für einen anderen methodischen Zugang ist in Kasten E 1.2.-1 dargestellt. Hier wurde mit sehr viel feineren und qualitativen Methoden gearbeitet, die ein differenzierteres Bild kultureller Besonderheiten ermöglichen. In dieser Studie wurde allerdings kein direkter Vergleich mit einer anderen Kultur vorgenommen.

1.2.2.2

Die soziale Gemeinschaft

Neben den kulturellen Traditionen hat die unmittelbare soziale Gemeinschaft einen wichtigen Einfluß auf die Wahrnehmung von Risiken. Durch kommunikative Prozesse (Gespräche mit Nachbarn und Freunden, aber auch durch Medien vermittelt) werden soziale Normen und Wissensinhalte produziert, die die Einschätzung von Risiken beeinflussen. Je nach Art und Ausmaß eines Risikos können die entsprechenden sozialen Repräsentationen eine weite oder eher lokal begrenzte Verbreitung haben. Ein Beispiel für weiträumig geteilte soziale Repräsentation ist der Diskurs über die Kernkraft oder den Klimawandel. Ein Beispiel für eine lokale Verbreitung ist der Diskurs über den Bau einer Müllverbrennungsanlage.

Die unterschiedlichen Reaktionen (Kasten E 1.2-2) trotz ähnlicher Ausgangslage machen deutlich, wie wichtig soziale Strukturen und Prozesse für die Wahrnehmung und Bewertung von sowie den Umgang mit Risiken sind. In den Fallbeispielen wird eine Reihe von Einflußfaktoren auf soziale Prozesse der Risikowahrnehmung und -kommunikation deutlich, die auch durch andere Studien bekräftigt werden.

In beiden Fällen waren keine unmittelbaren gesundheitlichen Wirkungen der chemischen Stoffe zu beobachten. Eine feststellbare Schädigung lag also nicht vor. Auch andere Beispiele zeigen, daß dies keine notwendige Voraussetzung für die vehementen Auseinandersetzungen um Risiken ist. Entscheidend ist vielmehr, zu welcher Bewertung des Risikos die soziale Gemeinschaft kommt. Keinesfalls darf dieser Bewertungsprozeß als Beliebigkeit interpretiert werden, dessen Ergebnisse zu vernachlässigen sind. Für diesen Bewertungsprozeß sind soziale Normen und Regeln maßgeblich, die auf dem Hintergrund kultureller Werte entstehen (Renn et al., 1992). Im sog. TCE-Fall (Kasten E 1.2-2) könnte die soziale Norm lauten: „Mitglieder unserer Gemeinde sind rechenschaftsberechtigter Bürger und sollten nicht zu Unrecht bestraft werden“. Im Love-Canal-Fall ließe sich resümieren: „Der Staat sollte Opfer skandalöser Entsorgungspraktiken unterstützen“. Diese Regeln und normativen Vorstellungen werden durch Kommunikation entwickelt, in deren Verlauf sich oft zentrale Meinungsführer herauskristallisieren.

Für die Bildung einer sozialen Gruppe ist in der Regel ein gewisses Maß an wahrgenommener Ähnlichkeit bezüglich Einstellungen, Interessen, Lebenslagen usw. zwischen den Mitgliedern notwendig. Für die einzelnen Personen hat eine solche Gemeinschaft verschiedene Funktionen. Sie bietet oft psychische und materielle Unterstützung bei der Bewältigung von Belastungen und stellt eine wirksamere Grundlage für Einflußprozesse dar, da Gruppen in der Regel ein größeres Potential als einzelne Personen haben (Edelstein und Wandersmann, 1987). Vor allem aber ist die soziale Gemeinschaft für ihre Mitglieder eine Quelle für Informationen und ihre Bewertung. In Gesprächen werden Gutachten, Zeitungsmeldungen, Gespräche mit Offiziellen usw. verstanden und interpretiert. Diese kommunikativen Prozesse haben also wichtige sinn- und bedeutungsgibende Funktionen, da hier die Bedeutung der Situation für die Gruppe und die einzelnen Personen ausgehandelt wird (Matthies et al., 1995). Solche Aushandlungsprozesse geschehen nicht unabhängig von der jeweiligen Situation oder den in Frage stehenden Risiken (Kap. E 1.2.4), können aber gerade aufgrund verschiedener Interpretationsfilter zu unterschiedlichen Bewertungen führen. Es lassen sich

Kasten E 1.2-1**Die Wahrnehmung und Bedeutung eines Vulkanausbruchs auf Java, Indonesien**

Der Merapi auf Java wird zu den gefährlichen Vulkanen der Welt gezählt. Nicht nur die regelmäßigen Ausbrüche, auch heiße Glutwolken, Aschenregen, giftige Gase oder durch Regenfälle verursachte Schlammlawinen aus vulkanischem Material stellen eine Bedrohung für die Anwohner dar. Dennoch ist die Umgebung dicht besiedelt. An der Südwestflanke leben mindestens 50.000 Menschen, wobei einige Dörfer bis zu 5 km an den Krater heranreichen. Bei dem letzten großen Ausbruch am 17.1.1997 mit einem 6 km langen Lavastrom und heißen Staub- und Gaswolken wurden 18.000 Menschen für eine kurze Zeit evakuiert. Während internationale Wissenschaftlergruppen an einem optimalen Frühwarnsystem arbeiteten, waren viele Bewohner in der Nähe des Merapi – trotz verschiedener Hinweise auf den bevorstehenden Ausbruch – nicht bereit, ihre Dörfer zu verlassen. Wie ist das zu erklären? Schätzen die Menschen das Risiko für ihr Leben und ihre Gesundheit nicht richtig ein?

Die Anthropologin Judith Schlehe hat die kulturspezifischen und religiösen Interpretationen und deren Handlungsrelevanz in Bezug auf den Merapi analysiert. Die Art der Naturwahrnehmung kann erklären, warum Javaner angesichts der Gefahr nicht fliehen.

Der Merapi gilt bei der Dorfbewölkerung als heilig. Er wird als Manifestation der Macht nicht-irdischer Wesen und als Geisterreich angesehen. Dabei besteht eine Verbindung zwischen dem Geisterreich und den Menschen. Die Geister können mit bestimmten Menschen durch Träume oder Inspiration kommunizieren und sie so z. B. vor einem Vulkanausbruch warnen. Viele Bereiche des Lebens werden in Beziehung zu den unsichtbaren Mächten gesetzt. So wird die politische Herrschaft auch heute noch mit mystischen Verbindungen zur Natur legitimiert. Laut alter Schriften und Mythen wurde die Machtübernahme eines früheren Herrschers (Senopati, 1575-1601) durch das Geisterreich des Merapi und das der Königin des südlichen Meeres, Ratu Kidul, als rechtmäßig anerkannt und bestätigt. Seitdem gibt es das Versprechen von Ratu Kidul, dem Sultan und allen seinen Nachfolgern schützend beizustehen. Das Geisterreich sorgt dafür, daß die Stadt Yogya, in der der Sultanspalast liegt, bisher immer von den Ausbrüchen des Merapi verschont blieb.

Aus diesem Grund fühlen sich die Bewohner von Yogya vor Ausbrüchen nach wie vor geschützt. Allerdings kann den Machthabern auch ihre Legitimation von den Geistern entzogen werden, wenn sie sich habgierig und als nicht rechtschaffend erweisen. Die Vulkanausbrüche werden entsprechend erklärt. So formulierte der „paranormale Experte“ Pak Permadi aus Yogya: „Wenn die Menschen mit ihrer Behandlung durch die Machthaber nicht zufrieden sind, aber sich nicht dagegen wehren können, wird ihre Wut, die sich als Energie äußert, von der Natur aufgenommen. Wenn die Natur wütend ist, kommt es zu einer Katastrophe wie einem Vulkanausbruch; denn die Natur fürchtet sich nicht vor menschlichen Herrschern.“ (Schlehe, 1998). Das Wissen, daß nur diejenigen Opfer des Vulkanausbruchs werden, die sich gegenüber der Geisterwelt des Merapi etwas zuschulden kommen ließen, die Ahnen vergessen oder das traditionelle Normen- und Regelsystem mißachtet haben, gibt den Menschen die Gewißheit, sich sicher zu fühlen. Nach dem Ausbruch 1997 verließen hauptsächlich Bewohner der Dörfer Turgo und Kinahrejo ihre Wohnstätte nicht. Diesen Dörfern kommt eine wichtige Schlüsselrolle zu. Solange Kinahrejo nichts geschieht, werden auch alle anderen Dörfer sicher sein. Die Bewohner fühlen sich an ihre Bestimmung und Aufgabe gebunden, an dem Ort ihrer Ahnen zu bleiben. Mbah Marijan, ein wichtiger Meinungsführer, dessen Ausführungen für die meisten Leute mehr Gewicht haben als die Warnungen der Vulkanologen, begründet das Bleiben folgendermaßen: „Denk daran, wenn es das Schicksal will, können wir überall sterben. Die Einwohner von Kinahrejo spüren ihre Bestimmung, dafür geboren zu sein, einen Schutzwall darzustellen, um das Wohl des Kratons (Palast im Geisterreich) und des Volkes von Mataram zu bewachen.“ (Schlehe, 1998).

Zudem stellt der Vulkan für die Anwohner nicht nur eine Bedrohung dar, sondern ist Ursprung fruchtbaren Bodens und ermöglicht zusammen mit ausreichend Regenwasser gute Ernten. Die Risiken des Vulkanausbruchs sind für die Bewohner auf der Grundlage ihrer Traditionen gut bewältigbar. Wegen dieser Traditionen sind Javaner nicht besonders umzugsfreudig. Zum Verständnis ist das Rukun-Konzept wichtig: Es bedeutet soziale Harmonie und Einordnung des Individuums in ein bestimmtes spirituelles Umfeld, das nicht einfach austauschbar ist. Die genannten kulturellen Werte sind ein bedeutendes Hindernis für die staatliche Umsiedlungspolitik.

einige situative Hintergrundvariablen unterscheiden, die Einfluß auf die kommunikativen Bewertungsprozesse nehmen können.

Verursachung des Risikos

In den genannten Fallbeispielen zählt dazu die Verursachung der chemischen Belastungen. In dem TCE-Fall wurde der Verursacher als jemand aus den „eigenen Reihen“ angesehen, den keine Schuld für die Situation trifft. Im Gegenteil, der Unternehmer galt als wichtige und integere Person in der Gemeinde, der für das Wohl der meisten gesorgt hatte. Es handelt sich hier also um einen Schaden, für den niemand zur Verantwortung gezogen werden kann, da der betreffende Unternehmer die toxische Belastung nicht absichtlich oder wissentlich herbeigeführt hat-

te. Die Wahrnehmung der Situation im Love-Canal-Fall ist anders, da hier ein eindeutiger Verursacher (das Unternehmen am Fluß) als schuldhaft verantwortlich für die chemische Belastung wahrgenommen wird. Es handelt sich dabei nicht um ein Mitglied der sozialen Gemeinschaft, sondern um einen externen Schuldigen. Die Ursachenzuschreibung für die (potentiellen) Schäden spielt in der Wahrnehmung von Risiken häufig eine große Rolle, da das zentrale Element bei den sozialen Prozessen im Umgang mit Risiken menschliche Entscheidungen und Handlungen sind, durch die Risiken entstehen und die von verschiedenen gesellschaftlichen Akteuren kontrovers beurteilt werden (Luhmann, 1991; Jungermann und Slovic, 1993a). Für diese gegensätzliche Beurteilung sind verschiedene Vorstellungen über

Kasten E 1.2-2

Die Love-Canal- und die TCE-Gemeinde als Fallstudien

Der Love-Canal-Fall

Ende der 70er Jahre wurde in einer Gemeinde am Love Canal, Niagara Falls, New York bekannt, daß die Böden mit als toxisch geltenden Stoffen schwer belastet sind. Diese Stoffe stammten von einer nahe gelegenen Fabrik. Nachdem die staatliche Gesundheitsbehörde vor dem Risiko gravierender Gesundheitsbeeinträchtigungen gewarnt hatte, wurden als erste Maßnahme 26 Personen (schwängere Frauen, Kleinkinder) evakuiert. Den meisten Bewohnern erschien diese Maßnahme angesichts der Unsicherheit über die möglichen Folgen der chemischen Belastung nicht angemessen. Nach starkem Protest wurde innerhalb 1 Woche von den Anwohnern die Möglichkeit einer staatlich finanzierten Umsiedlung von weiteren 239 Hausbesitzern erkämpft. In den nächsten 2 Jahren verschärfte sich der Konflikt zwischen den Anwohnern und den zuständigen Behörden. Aggressive Konfrontationen bei Anhörungen und Sitzungen sowie langwierige juristische Auseinandersetzungen bestimmten den Diskurs. Konfliktbeladen war v. a. die Frage, wie weit sich die toxischen Stoffe ausgebreitet hatten bzw. ausbreiten würden und wer sich ausgehend von diesen Ausbreitungsgrenzen als betroffen und damit als unterstützungsberechtigt ansehen durfte. Viele sahen sich nicht mehr in der Lage, unter diesen Umständen in der Gemeinde wohnen zu bleiben. Sie standen aber auch vor erheblichen finanziellen Schwierigkeiten, da ihre Grundstücke und Häuser aus naheliegenden Gründen nicht mehr ohne weiteres zu verkaufen waren. Der Nervenkrieg endete, als beschlossen wurde, insgesamt über 550 Hausbesitzer, sofern sie freiwillig umsiedeln wollten, finanziell zu unterstützen.

Der Protest und die Belastung durch diese Situation wurden nicht von allen Anwohnern des Love Canal in gleicher Weise mitgetragen. Es entwickelten sich 2 dominante, gegensätzliche Wahrnehmungs- und Deutungsmuster der Situation und davon ausgehend auch 2 Handlungsmuster. Während etwa $\frac{1}{3}$ der Betroffenen von einer geringen Ausbreitung der chemischen Verseuchung ausging und die Gesundheitsrisiken als niedrig einstuft (the minimalists), sahen die restlichen $\frac{2}{3}$ das gesamte Gebiet als verseucht an und befürchteten ernste Gefahren für die Gesundheit (the maximalists). In der Gruppe der Minimalisten dominierten Rentner bzw. baldige Rentner, deren Kinder nicht mehr zu Hause wohnten. Ihre größte Sorge war der Verlust ökonomischer Sicherheit im Alter, repräsentiert durch das eigene Heim. Gleichzeitig zeichneten sich die Minimalisten durch eine relativ lange Wohndauer in Love Canal, aber auch nur durch wenige langjährige soziale Kontakte aus. Dagegen

waren die meisten Maximalisten jüngere Hausbesitzer, die sich um die Gesundheit ihrer Kinder sorgten und zudem über ein engeres soziales Kommunikationsnetz untereinander verfügten. Diese sozialstrukturellen Faktoren waren nicht die Ursache der unterschiedlichen Einschätzungen, sie beeinflussten aber in hohem Maß die Perspektive, unter der Informationen gesammelt und bewertet wurden (Fowlkes und Miller, 1987).

Der TCE-Fall

Ein ganz anderes Bild zeigte sich in einer Gemeinde ebenfalls im Staat New York, in der bekannt wurde, daß das Grundwasser mit Trichloräthylen (TCE) belastet ist. Diese Substanz kann u. a. krebserregend wirken. TCE wurde von einer nahegelegenen Chemiefabrik in das Grundwasser eingebracht. Viele Haushalte bezogen ihr Trinkwasser aus Brunnen, die mit der Substanz belastet waren.

Dennoch zeigten die Bürger während der insgesamt über 4 Jahre dauernden Wasseruntersuchungen weder nennenswerte Anzeichen von Beunruhigung über mögliche gesundheitliche Schäden noch irgendwelche organisierten Aktivitäten. Da das lokale Unternehmen als Verursacher angesehen wurde, hielten sich die Bewohner aus Angst vor ökonomischen Konsequenzen (Arbeitsplatzverlust) mit Anschuldigungen zurück. Vor allem aber wurde der Emittent als Mitglied der sozialen Gemeinschaft angesehen, für den es als ungerecht empfunden wurde, ihn für die bisher nicht bekannten Folgen der Stoffentsorgung zur Verantwortung zu ziehen. Öffentliche Anhörungen wurden folglich nur schwach besucht; mit zunehmender Dauer des Problems spielte der gesundheitliche Aspekt eine nur noch untergeordnete Rolle. Zentraler Grund für das Desinteresse der Bewohner war das Vertrauen in die lokale Verwaltung und Politik, die anstehenden Angelegenheiten in ihrem Sinn zu regeln. Hinzukam, daß keine gravierenden gesundheitlichen Beeinträchtigungen auftraten. Da zudem TCE eine nicht wahrnehmbare Chemikalie ist, waren die Bürger von Beginn an auf Expertenurteile angewiesen. Weil aber einerseits die von den Bundesbehörden mit Probebohrungen beauftragten Ingenieurbüros nicht aus der Gemeinde stammten und andererseits TCE vielen Anwohnern durch ihre Arbeit in den lokalen Fabriken bekannt war, wurde deren Analysen nicht viel Aufmerksamkeit geschenkt. Statt dessen wurden das Betreten von Privatgelände (zwecks Probebohrungen) und die wachsenden Untersuchungskosten problematisiert. Die Befürchtung, daß diese Kosten von den Bundesbehörden auf die verantwortlichen lokalen Unternehmen abgewälzt werden könnten, wurde von den Meinungsführern vorgetragen. Es war den meisten Anwohnern wichtiger, daß die Wasseruntersuchungen wieder aufhörten, als lange nach der Schuld der Unternehmen zu suchen (Fitchen et al., 1987).

eine gerechte Kosten-Nutzen-Verteilung der potentiellen Schäden sowie des potentiellen Nutzens ebenfalls relevant.

Schadensfälle und auch Risiken, die dagegen auf natürliche Ursachen zurückgeführt werden, werden meist weniger kontrovers beurteilt, da die Frage der Verursachung kaum sinnvoll zu stellen ist. Allerdings wird die Unterscheidung zwischen natürlichen und technischen Risiken immer weniger trennscharf, da anthropogene Einflüsse auch für die Entstehung oder Verstärkung natürlicher Risiken eine immer

größere Rolle spielen. Der Zusammenhang zwischen Bodenversiegelungen, Abholzung von Wäldern, Eingriffen in Flußläufe und Überschwemmungen verdeutlicht dies.

Vertrautheit des Risikos

Risiken, die Menschen schon lange vertraut sind, werden in der Regel weniger gefährlich eingeschätzt, da Vertrautheit oft das Gefühl von Kontrollierbarkeit vermittelt. Solche Phänomene sind auch aus dem Bereich der Arbeitssicherheit bekannt, wo Schutz-

maßnahmen in gefährlicher Weise vernachlässigt werden, da die Arbeiter glauben, mit den entsprechenden Risiken gut umgehen zu können. Den Mitgliedern der TCE-Gemeinde war der Stoff *gut* bekannt. Viele waren es gewohnt, bei der Arbeit damit umzugehen und fühlten sich von daher nicht besonders bedroht. Den Bewohnern der Love-Canal-Gemeinde dagegen waren die chemischen Stoffe *nicht* vertraut und sie wußten nichts genaues darüber – für die meisten eine sehr beunruhigende Tatsache (Kap. E 1.2.4).

Lebenssituation der Betroffenen

Von den Bewohnern der Love-Canal-Gemeinde ist bekannt, daß sich die Aktiven in einer anderen Lebensphase befanden, als diejenigen, die kaum Interesse an einer Veränderung bzw. Kompensation der Situation hatten. Die Aktiven waren jünger, wohnten noch nicht so lange dort und hatten oft Kinder. Die Vorstellung, das ganze Leben in dieser als gefährlich empfundenen Situation zu leben und dabei womöglich die Gesundheit der Kinder aufs Spiel zu setzen, war für die meisten sehr beunruhigend und Anlaß genug, sich zu wehren. Die Älteren dagegen hatten kein Interesse, ihre Situation zu verändern. Auch die ökonomische Situation der Betroffenen kann einen Einfluß auf den Umgang mit Risiken haben. So gaben beispielsweise mexikanische Feldarbeiter, deren ökonomische Lage extrem wenig Handlungsspielraum läßt, an, daß sie sich keine Sorgen um gesundheitliche Beeinträchtigungen durch die bei ihrer Arbeit zum Einsatz kommenden Pestizide machten (Vaughan, 1993).

Verhalten der zuständigen Behörden/Organisationen

Vertrauen in die zuständigen Behörden hat sich als wesentlicher Faktor für die Entwicklung der Schadensfallsituation erwiesen. In der Kommune am Love Canal konnten die Behörden offensichtlich nicht angemessen auf die Sorgen der Bewohner reagieren. Auch aus anderen Studien ist bekannt, daß durch das Verhalten der Behörden die ohnehin belastende Situation verschärft werden kann (Guski et al., 1991). Wenn von diesen Stellen nicht eine glaubwürdige und den Sicherheitspräferenzen der Betroffenen angemessene Umgangsform mit dem Ereignis gefunden wird, dominiert häufig großes Mißtrauen auch gegenüber allen weiteren Institutionen. Da den von „dieser Seite“ kommenden Informationen nicht vertraut werden kann, sehen sich die Betroffenen gezwungen, selbst aktiv zu werden. Das Gefühl der permanenten Desinformation verstärkt häufig die Belastungen, die zu einem großen Teil durch die Unsicherheit der Situation hervorgerufen werden.

In dem TCE-Fall waren die Interaktionen zwischen Behörden und Anwohnern von einem eher vertrauensvollen Umgang gekennzeichnet, in dem die Bürger ihre Interessen gut vertreten fanden. So erschien es ihnen weniger notwendig, selbst aktiv zu werden. Das Verhalten der Behörden kann also einen Einfluß auf die kommunikativen Bewertungsprozesse von Gruppen zu bestimmten Risiken oder katastrophalen Situationen haben. Es sei aber betont, daß dies keineswegs allein ausschlaggebend für die Interpretation der Ereignisse ist.

Signalwirkung lokaler Ereignisse

Lokale Ereignisse, wie die Belastung der Böden oder des Grundwassers mit chemischen Stoffen oder Unglücksfälle in technischen Anlagen (z. B. in Tschernobyl), haben oft eine Wirkung über die Grenzen der jeweiligen Region hinaus. Lokale Prozesse können damit eine *Signalwirkung* für die gesamte Gesellschaft oder sogar für die weltweite Kommunikation über Risiken haben (Jungermann und Slovic, 1993a). Daher ist es nicht ausreichend, Risiken nur unter der Perspektive ihrer *direkten* Auswirkungen, wie Todesfällen, Verletzten oder Sachschäden, zu beurteilen. *Indirekte Wirkungen* sind ebenfalls zu berücksichtigen. Dazu gehören beispielsweise

- Veränderung des politischen Klimas (Druck auf politische Entscheidungsträger bestimmte Risiken von vornherein zu vermeiden, soziale Unruhe).
- Veränderungen ökonomischer Faktoren (höhere Kosten durch Sicherheitsbestimmungen, geringere Werte von Grundstücken, geringere Attraktivität für den Tourismus).
- Entstehung von größeren sozialen Bewegungen, die oft ihren Ausgangspunkt bei einzelnen Schadensfällen haben (Reaktorunglück von Three Mile Island, Tschernobyl) (Opp, 1996).
- Einstellungsänderungen breiterer Bevölkerungsschichten zu bestimmten Themen (z. B. Skepsis gegenüber Großtechnologien), die die Wahrnehmung, Bewertung und Akzeptanz von anderen Risiken mitbeeinflussen können (Renn et al., 1992).

Die sozialwissenschaftliche Analyse des Umgangs mit Risiken konzentriert sich vielfach auf Fallbeispiele, die durch westliche Kulturen geprägt sind. Ein anderer Schwerpunkt liegt in der Analyse des Handelns von Menschen unter Bedingungen von Unsicherheit und Krisenanfälligkeit (z. B. für Hunger) bedingt beispielsweise durch die Saisonalität in semiariden Regionen. Unter dem Eindruck der zweiten großen Dürrekatastrophe in der Sahelzone Mitte der 80er Jahre haben sich solche Untersuchungen v. a. auf die Frage der Möglichkeiten und Grenzen menschlicher Anpassung an überlebensbedrohende Katastro-

Kasten E 1.2-3

Die Bedeutung der Kultur beim Umgang mit Risiken des Globalen Wandels: Beispiele aus der empirischen Forschung

Themen der Arbeiten zu Handlungen unter Unsicherheit und Krisenanfälligkeit sind beispielsweise das Anpassungsverhalten verschiedener westafrikanischer Stämme gegenüber Desertifikation und Hungerkrisen, welches als eine Kette von Problemen und Lösungsversuchen interpretiert wird (Mortimore, 1989). Auch die Rolle indigener Institutionen und alternativer Beschäftigungsmöglichkeiten angesichts von Dürre und Hungerkrisen sind Fragen, mit denen sich die empirische Forschung beschäftigt (Huss-Ashmore und Katz, 1989). Die gesellschaftliche Organisationsfähigkeit, insbesondere von Kooperation und Kommunikation, spielt bei der Interpretation von Risikobewältigung ebenfalls eine Schlüsselrolle (Rau, 1991). Die Möglichkeiten des Rückgriffs auf allgemein zugängliche Naturreserven, die Zuhilfenahme von Krediten und Patronage, aber auch Glücksspiel und Diebstahl angesichts von Nahrungskrisen sind weitere Themen der empirischen Forschung (Richards, 1986). Einige historisch ausgerichtete Arbeiten beschäftigen sich mit Ernährungsrisiken und Geschlechterbeziehungen (Vaughan, 1987; Bryceson, 1990).

Das Handeln in einer Hungerkrise war auch Thema einer Untersuchung von Spittler (1989), der während der großen Dürre von 1984 mit den Tuaregnomaden im nördlichen Niger gelebt hat. Er beobachtete dabei das Viehhüten im Alltag und während der Dürre, erforschte die Strategien beim Besorgen von Lebensmitteln in der Hungerkrise, beschrieb Formen von Solidarität, aber auch von Egoismus beim Teilen von Lebensmitteln, zeigte, wie bei den Tuareg Speisen, speziell Hungerspeisen zubereitet wurden und nahm sich schließlich auch der Frage an, wie die Betroffenen selbst Dürre, Geschichte und Todesbedrohung interpretieren. Danach sind die Tuareg keine passiven Opfer einer verheerenden, unerwarteten Naturkatastrophe, sondern gehen aktiv, zielgerichtet und innovativ mit der Bedrohung um. Auch geht es ihnen nicht nur um Hungern und Überleben, sondern v. a. um ein würdiges Leben trotz der Katastrophe: „Der einzelne steht dabei vor vielen Entscheidungen: Fliehen oder dableiben, das Vieh retten oder sich selbst in Sicherheit bringen, anderen Menschen helfen oder nur an sich selbst denken. Er muß große Anstrengungen unternehmen, um sich die vertrauten Lebensmittel zu beschaffen. Wie eine

solche Hungerkrise verläuft, hängt aber nicht nur und nicht einmal in erster Linie von den Anstrengungen jedes einzelnen ab, sondern von der Beziehung zwischen den Menschen und von ihrer gemeinsamen Deutung der Situation. Daß es in einer Hungerkrise nur ums Überleben geht und jeder nur an sich selbst denkt, ist eine weit verbreitete, aber dennoch falsche Klischeevorstellung. Eine Hungerkrise führt nicht notwendig zu einem Zustand, in dem jeder nur noch um sein eigenes Überleben kämpft“ (Spittler, 1989).

Relativ wenig ist im Vergleich zu diesen auf spektakuläre Hungerkatastrophen in Afrika ausgerichteten Arbeiten über chronische Risiken, Saisonalität und Dürrebewältigung in Asien gearbeitet worden. Am Beispiel des Umgangs verwundbarer Gruppen im indischen Bundesstaat Gujarat mit den saisonalen Unsicherheiten einer semiariden Umwelt, aber auch mit der großen Dürre von 1985/1987 führt Chen (1991) das Konzept des household livelihood system ein. Dieses Konzept beschreibt einen Mix aus individuellen und kollektiven Strategien eines Haushalts zur Mobilisierung von Ressourcen und Schaffung von Handlungsalternativen. Unter Ressourcen werden physische Aktiva verstanden, wie Land, Zeit, Fähigkeiten, familiäre und ethnisch-religiöse Gruppenbeziehungen sowie Kollektivgüter und Leistungen der öffentlichen Hand. Zum anderen werden auch verschiedene Dimensionen der Lebenssicherung wie beispielsweise die Bedeutung von Geschlecht, die Einbindung des Haushalts in Märkte und Institutionen, die sozialen Beziehungen, die Einkommensdiversifizierung, die Bedeutung der Saisonalität und die verschiedenen Dimensionen der Risikominderungsstrategien im ländlichen Indien gezeigt, die für chronische Formen von Verwundbarkeit und Risikoanfälligkeit verallgemeinerbar erscheinen (Kap E 2). Eine neuere Untersuchung in Westbengalen zeigt schließlich, daß Armutgruppen nicht nur für Ressourcen, sondern auch für Respekt und Anerkennung ihrer angestammten Rechte an dörflichen Gemeinschaftsgütern kämpfen (Beck, 1995). Hierbei zeigt sich die überaus große Bedeutung von gegenseitiger Hilfe zwischen Armen, insbesondere in Zeiten von Krankheit. Obwohl viele von ihnen größere Kredite von reichen Dorfbewohnern erhalten, wird dies nicht als „Hilfe“, sondern als ein Kontrakt zwischen Ungleichen gesehen, bei dem sie selbst oft betrogen werden. Zugang zu natürlichen Ressourcen, die Allgemeingut sind (Holz, Wildfrüchte, Fisch, Salblätter), das Sammeln von Ernteresten und die gemeinsame Aufzucht von Vieh machen bis zu 25% des gesamten jährlichen Einkommens von Armutgruppen aus. Bei diesen Strategien spielen Frauen und Kinder eine Schlüsselrolle, die Außenseitern jedoch oft verborgen bleibt.

phen konzentriert (de Garine und Harrison, 1988) (Kasten E 1.2-3).

1.2.3

Die Rolle der Medien

Soziale Kommunikation über Risiken und soziale Urteilsprozesse wird auch durch die Medien angestoßen, verstärkt oder abgeschwächt. Unzweifelhaft gibt es einen Zusammenhang zwischen medialer Berichterstattung und Einstellungen des Medienpublikums. Welche Rolle die Medien dabei für die Risikoeinschätzung von Personen spielen, darüber gehen

die Auffassungen allerdings weit auseinander. Die Vorstellungen reichen von Aussagen wie „Die Medien beeinflussen die Gesellschaft“ bis zu „Die Gesellschaft beeinflusst die Medien“. Positionen, die ein komplexes Zusammenspiel von Medien und Gesellschaft annehmen, liegen zwischen den beiden Extremen. Nach dieser Vorstellung können Medien einen Einfluß auf die Meinungen, Einstellungen und auch Wissensstände eines breiten Personenkreises haben, sie können aber auch bereits stattfindende Prozesse abbilden. Beide Aspekte können sich zudem gegenseitig beeinflussen. Im einzelnen werden weitere Wirkungsannahmen aufgestellt und teilweise auch empirisch überprüft (Peters, 1995):

- Medien beeinflussen den Wissenserwerb und -stand der Rezipienten.
- Medien beeinflussen die Auswahl der als problematisch angesehenen Themen (agenda setting).
- Medien haben einen Einfluß auf Meinungen und Einstellungen der Rezipienten.
- Medien beeinflussen das Image von Akteuren.
- Medien haben einen Einfluß auf die Fähigkeit der Rezipienten, aktiv mit Risiken umzugehen und sie besser bewältigen zu können.

Zu den ersten 3 Wirkungsannahmen liegen empirische Befunde vor, die eine genauere Betrachtung der Hypothesen erlauben. Allerdings ist zu beachten, daß es methodisch äußerst schwierig ist, die vermeintlichen Medieneinflüsse von anderen möglichen Einflüssen, z. B. interpersonaler Kommunikation, zu trennen, so daß eindeutige kausale Beziehungen nicht postuliert werden können. Zudem fehlt es weitgehend an Untersuchungen, die sich explizit mit den Besonderheiten der Vermittlung und Informationsverarbeitung von globalen Umweltproblemen beschäftigen.

Einfluß auf den Wissenserwerb der Medienrezipienten

In den ausgewählten und analysierten Studien zeigte sich, wie erwartet, daß Rezipienten Wissen über Risiken (Technik- und Umweltprobleme) aus den Medien beziehen (Peters, 1995). Die aufgenommenen Wissensinhalte werden jedoch stark durch individuelle Verarbeitungsprozesse gefiltert. Informationen, bei denen ein Bezug zu Alltagserfahrungen vorliegt oder die in irgendeiner Weise für die Rezipienten persönlich relevant sind, können leichter behalten werden. Beispielsweise erinnerten sich nach den Ursachen für die Zerstörung der Ozonschicht befragte Personen meist nur noch an die „Spraydose“, obwohl auch über andere Ursachen berichtet worden war. Auch in Bezug auf Technologien (Kernkraft, Gentechnik), bei deren Darstellung oft individuelle Nachteile kollektiven Vorteilen gegenüberstehen, werden die Nachteile besser erinnert als die Vorteile, selbst wenn in den Medien über beide Seiten ausgewogen berichtet wurde.

Agenda Setting

Durch Medienberichte können die Aufmerksamkeit für bestimmte Themen und das Problembewußtsein gelenkt bzw. erhöht werden. Zweifelsfrei werden viele Informationen auch nur durch die Medien vermittelt. Inwieweit wird auf diesem Weg eine kollektive Schwerpunktsetzung bewirkt? In einer Studie von Atwater et al. (1985) wurden über 2 Monate Zeitungsartikel ausgewertet und nach inhaltlichen Bereichen wie Abfallentsorgung, Wasserqualität, Gefährliche Stoffe, Bodenqualität, Luftqualität und Na-

turschutz klassifiziert. In einer anschließenden Befragung der Bevölkerung wurde geprüft, wie sich der Zusammenhang zwischen Medienberichterstattung und Einschätzung durch die Befragten darstellte. Es zeigte sich zum einen, daß die Befragten die Themenschwerpunktsetzung der Medien sehr genau angeben konnten und zum anderen, daß es eine mittlere Übereinstimmung zwischen der persönlichen Beurteilung der Wichtigkeit der Themen und einer Schwerpunktsetzung durch die Medien gab. Es muß allerdings betont werden, daß die auf diesem Weg erfaßte Einschätzung eines Themas als „wichtig“ nicht automatisch mit Konsequenzen für das Verhalten oder die Veränderungen von Einstellungen verbunden ist.

In einer anderen Studie, in der die Schaffung von Problembewußtsein durch eine 3teilige TV-„Enthüllungsserie“ über die Behandlung von Sonderabfällen überprüft wurde, zeigte sich allerdings kein Effekt (Proffess, 1987). Die befragten Personen schätzten die Wichtigkeit des Problems „Sonderabfall“ nicht anders ein als die Personen, die die Serie nicht gesehen hatten. Hier war jedoch ein anderer interessanter Effekt zu beobachten: Verantwortliche Entscheidungsträger maßen nach der Serie dem Problem einen höheren Stellenwert zu und bereiteten in der Erwartung, daß aus der Öffentlichkeit Anfragen und Proteste kämen, problemlösende Schritte vor. In diesem Fall hat also allein die Zuschreibung medialer Beeinflussungsmacht zu einer Veränderung der Situation geführt.

Meinungs- und Einstellungsänderung

Wenn Medien die Einstellungen von Rezipienten beeinflussen können, dann müßte sich der jeweilige Medientenor in den Einstellungen der Rezipienten wiederfinden lassen. Aber selbst wenn sich ein paralleler Verlauf von Medientenor und Einstellungen der Rezipienten finden läßt, ist der Schluß noch nicht zulässig, daß die Medien die jeweiligen Einstellungen verursacht haben. Auch der Schluß, daß die Medien die Einstellungen und Einstellungsänderungen lediglich widerspiegeln, ist möglich. Die Datenlage deutet darauf hin, daß diese Frage zumindest in dieser allgemeinen Form weiterhin offen bleiben muß und weiterer Forschung bedarf.

Teilweise läßt sich ein paralleler Verlauf von Medientenor und den Einstellungen der Bevölkerung feststellen, teilweise zeigen sich aber auch unterschiedliche Verläufe (Kepplinger, 1989). Daß eine risikofreundliche bzw. -feindliche Berichterstattung zu entsprechenden Einstellungen bei den Medienrezipienten führt, läßt sich also nicht so einfach schlußfolgern. Neben der Tendenz der Berichterstattung kann auch der Umfang der Berichterstattung zu einem Thema eine mögliche Ursache für entsprechen-

de Einstellungen sein. Unabhängig davon, ob ein kontrovers beurteiltes Risiko überwiegend negativ oder positiv in der Berichterstattung erwähnt wurde, beurteilten es diejenigen Rezipienten negativer, die darüber in größerem Umfang etwas gehört bzw. gelesen hatten. Es scheint, daß die Häufigkeit der Berichterstattung zu einem Thema als Indikator für die Gefährlichkeit angesehen wird.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß Medien einen Einfluß auf das Wissen, die Meinungen und Einstellungen von Rezipienten haben, daß dieser Einfluß aber nicht überschätzt werden darf. Es muß bedacht werden, daß Rezipienten nicht passive Konsumenten von Informationen sind, sondern diese selektiv aufnehmen, aktiv verarbeiten und verändern. Das geschieht zum einen durch individuelle kognitive Verarbeitungsprozesse (Wahrnehmung, Erinnerung), zum anderen durch zwischenmenschliche Kommunikation (Kap. E 1.2.2.2). Rezipienten sind in ihr soziales Umfeld eingebettet und teilen mit diesem in der Regel ein bestimmtes Vorwissen, Präferenzen, Einstellungen, Interessen usw., die die Auswahl von Informationen und auch bestimmte Interpretationen leiten. Die Medienwirkungen werden durch diese Prozesse beeinflusst, so daß eine unmittelbare Manipulation wenig wahrscheinlich ist. In jüngster Zeit wird v. a. den interpersonalen Kommunikationsprozessen, in denen mediale Inhalte verarbeitet werden, mehr Aufmerksamkeit geschenkt. Größere Einflüsse durch Medien sind allerdings in den Bereichen vorstellbar, in denen die Rezipienten nicht bereits über eigene Erfahrungen oder auch Einstellungen verfügen. Des weiteren hängt die Wirksamkeit von Medien auch von den Merkmalen der Berichterstattung ab: Sind Inhalte aufgegriffen, die die Rezipienten interessieren? In welcher Art werden die Inhalte präsentiert? Zu welchem Zeitpunkt werden sie präsentiert? Für wie glaubwürdig wird die Informationsquelle gehalten?

1.2.3.1

Korrektheit und Tendenz medialer Berichterstattung

Häufig wird der Berichterstattung zu Technik, Umwelt und Risiken vorgeworfen, daß sie ungenau, fehlerhaft und einseitig in der Darstellung sei, auf Sensationseffekte ziele und zu einer undifferenzierten Technik- und Risikofeindlichkeit der Bevölkerung beitrage. Um diese Vorwürfe zu prüfen, muß die mediale Berichterstattung entsprechend analysiert werden.

Korrektheit der Darstellung

Werden Sachverhalte richtig beschrieben, werden Verzerrungen der Darstellung vorgenommen, wird über- bzw. untertrieben? Die Beantwortung dieser Fragen ist nicht einfach, da unterschiedliche Maßstäbe für die Genauigkeit und die Vollständigkeit von Berichten zugrundegelegt werden können. Dennoch kommen 3 ausgewählten Studien (Peters, 1995) aus Neuseeland, USA und Deutschland zu dem Ergebnis, daß der Anteil der als völlig korrekt eingestuften Berichte sehr gering ist (ca. 6–30%). Dabei können die Fehler nicht nur auf die wissenschaftliche Unerfahrenheit von Journalisten zurückgeführt werden. Dies belegt die neuseeländische Studie, in der es um globale Klimaveränderungen geht, genauer (Tab. E 1.2-1).

Es sei aber hier noch einmal darauf hingewiesen, daß auch eine sehr große Anzahl völlig korrekter Berichte nicht immer die richtige Wissensrepräsentation bei den Rezipienten gewährleisten kann, da die Weiterverarbeitung der Informationen kognitiven und sozialen Prozessen unterliegt (s. oben).

Neben diesen Studien wurde die Frage der Korrektheit von Medienberichten auch unter dem Gesichtspunkt von ungleicher Gewichtung (Umfang, tendenziöser Darstellung) betrachtet. In diesen Analysen (Kepplinger, 1989; Singer und Endreny, 1993) wurde angenommen, daß Medienberichterstattung eine richtige Beschreibung der tatsächlichen Umwelt- und Risikorealität liefert und daß sich folglich Veränderungen in der Realität auch in der Berichterstattung im gleichen Verhältnis niederschlagen sollten. Wenn also die Umweltsituation tatsächlich schlechter würde, müßte auch die Anzahl der Medienberichte darüber steigen und umgekehrt. Alle Studien kommen jedoch zu dem Ergebnis, daß es keinen systematischen Zusammenhang zwischen den technisch-statistischen Daten zur Umweltlage oder zur Risikohöhe und der Berichterstattung gibt. Die Häufigkeit der Berichterstattung entspricht also keineswegs der Einschätzung der Gefährlichkeit der Situation durch Experten. Es kann angenommen werden, daß für die journalistische Berichterstattung andere Regeln und Ziele gelten (Rezipientennachfrage nach bestimmten Berichten, Zugang zu Informationsquellen, die Möglichkeiten das Thema als „Aufmacher“, Skandal, seriösen Bericht usw. zu positionieren) als eine adäquate Darstellung technisch-statistischer Risikodaten.

Tendenz/Ausgewogenheit der Darstellung

Der medialen Berichterstattung zum Thema Risiko wird oft eine technikfeindliche Tendenz vorgeworfen. Die dazu durchgeführten Studien – v. a. zur Darstellung der Kernenergie nach Tschernobyl – zeigen dagegen, daß die Berichterstattung in der Regel aus-

Tabelle E 1.2-1
Unkorrektheiten in der
Berichterstattung
neuseeländischer Zeitungen
über Globale
Klimaveränderungen.
Quelle: Peters, 1995

	Zahl der Ungenauigkeiten	% der Artikel
Unkorrekte Überschrift	22	12
Unkorrekter 1. Absatz	17	9
Unkorrekte Illustration oder Bildunterschrift	3	2
Wissenschaftliche/technische Unkorrektheit	139	34
Nicht-wissenschaftliche Unkorrektheit	72	32
Fehlzitierung	110	34
Weglassung	64	25
Übertreibung	81	26
Verzerrung	54	20

gewogen ist. In den analysierten Medien (Tageszeitungen und öffentlich-rechtliche Fernsehprogramme in Deutschland) werden ungefähr im gleichen Maß Kernenergiebefürworter wie Kernenergiegegner zitiert. Die journalistische Bewertung der zitierten Aussagen scheint dann v. a. von der generellen politischen Ausrichtung des jeweiligen Medienorgans abzuhängen. Als „links“ geltende Zeitschriften und Zeitungen unterstützen eher kernenergieablehnende Haltungen, während als „konservativ“ geltende Zeitungen eher kernenergiebefürwortende Haltungen unterstützten (Rager et al., 1987). Es darf demnach weniger von einer pauschalen Technikfeindlichkeit ausgegangen werden, sondern eher von zielgruppenspezifischen Meinungstrends.

Ebensowenig wie eine generelle Technikfeindlichkeit kann der Vorwurf einer „panikschürenden“ Berichterstattung, die unbegründete Ängste schaffe, bestätigt werden. Dies gilt für die Darstellung der Strahlenbelastung nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl. Untersuchungen, die sich auf entsprechende Medienberichte aus Deutschland und den USA beziehen, zeigen eine tendenziell ausgewogene und beruhigende Berichterstattung (Peters, 1995). Über die Hälfte der Beiträge, in denen die Strahlenbelastung thematisiert wurde, enthielten beruhigende Einschätzungen.

Empirische Befunde – bezogen auf die deutsche Medienlandschaft – zeigen, daß sich die Berichterstattung über Technik und Risiken seit der Nachkriegszeit insgesamt verändert hat, und zwar unabhängig von der politischen Ausrichtung der Medien. Die Anzahl ausschließlich positiv wertender Aussagen in den Berichten hat abgenommen und sich hin zu kontroversen Darstellungen verschoben. Dabei findet die Darstellung von Risiken und Technik hauptsächlich in den Themenfeldern Politik und Recht und wenig in den Feldern Wissenschaft und Ökonomie statt. Die mediale Darstellung ist also v. a. durch politische Akteure geprägt, Experten kommen vergleichsweise selten zu Wort. Hier mag einer der

Gründe dafür liegen, daß in Bezug auf Risiken in der Regel zwar nicht panikschürend, aber doch über mögliche negative Folgen berichtet wird und kaum über Eintrittswahrscheinlichkeiten. Weitergehende Charakterisierung von Risiken, wie beispielsweise die jährliche Mortalitätsrate, die vom Risiko betroffene Bevölkerungsgruppe, die Dauer des Schadens oder die Relevanz für künftige Generationen werden relativ selten dargestellt. Singer und Endreny (1987) fassen ihre Analyse folgendermaßen zusammen: „Medien berichten nicht über Risiken, sondern über Schäden.“

1.2.4

Individuelle Faktoren

Individuelle Faktoren der Risikowahrnehmung und -bewertung hängen mit sozialen Faktoren zusammen. Jedes Individuum ist stets eingebettet in die Interpretationskultur einer Gesellschaft oder sozialen Gruppe, die als Filter für viele individuelle Prozesse begriffen werden kann. Es ist jedoch notwendig, diese Prozesse zu kennen, da sie oft dazu beitragen, die soziale und gesellschaftliche Interpretationskultur zu etablieren oder zu verändern.

Freiwilligkeit

Eine wichtige Rolle für die Einschätzung eines Risikos spielt die Freiwilligkeit der Übernahme. Risiken, denen Menschen gegen ihren Willen ausgesetzt sind, werden meist als größer empfunden als solche, die Menschen freiwillig eingehen (Renn, 1992; Jungermann und Slovic, 1993b). Nicht freiwillig eingegangene Risiken werden in der Regel auch weniger akzeptiert (z. B. die Belastung durch Industrieemissionen), denn sie müssen aufgrund der Entscheidung anderer Menschen ausgehalten werden. Daraus folgt, daß die einzelne Person kaum Einfluß auf die Dinge hat, die mit ihr geschehen. Für die meisten Menschen ist dies ein guter Grund, sich zu wehren. Freiwillig eingegan-

gene Risiken (z. B. Rauchen) werden in der Regel als eigenverantwortliches Handeln begriffen, das potentiell kontrollierbar ist.

Menschen versuchen nicht nur Risiken zu vermeiden, sondern suchen bestimmte Risiken sogar bewußt auf. Der Nervenkitzel und die Herausforderung, in riskanten Situationen zu bestehen, erleben viele als wesentliche Bereicherung ihres Lebens. Die Bedeutung dieses individuell sehr unterschiedlich ausgeprägten Merkmals sollte nicht unterschätzt werden. Die Hinwendung zu immer gefährlicheren Sportarten und Freizeitaktivitäten ist nur ein Beleg dafür.

Persönliche Erfahrung

Die persönliche Erfahrung ist ebenfalls relevant für die Einschätzung eines Risikos. Schlechte Erfahrungen mit Gefahren tragen dazu bei, daß die Person das Risiko als sehr hoch empfindet und aktiv etwas zur Vorbeugung unternimmt. Allerdings ist dies kein allgemeingültiges Gesetz. So ist bekannt, daß Menschen, die wiederholt Opfer einer Gefahr geworden sind (z. B. die dritte Überschwemmung innerhalb kurzer Zeit erlebt haben), resignieren und keine weiteren Vorsorgemaßnahmen mehr treffen (Evans und Cohen, 1987). Aber auch wenn Menschen keine persönlichen Erfahrungen mit akuten Gefahren gemacht haben, wie das z. B. für die möglichen Folgen des Klimawandels gilt, können Risiken als sehr hoch eingeschätzt werden. Dies geschieht v. a. dann, wenn solche Gefahren schwer wahrnehmbar, nicht individuell kontrollierbar und potentielle Schäden sehr hoch sind.

Eine andere Folge mangelnder Erfahrung mit den negativen Folgen eines Risikos wird mit dem Stichwort „Gefangene des Gedächtnisses“ beschrieben. Da die Personen bisher keine schlechten Erfahrungen mit möglichen Schäden gemacht haben, unterschätzen sie das Risiko und treffen auch entsprechend keine Vorsorge für ihren Schutz.

Betroffenheit von einem Schaden

Wie kaum anders zu erwarten, schätzen Personen, die sich von einem potentiellen Schaden nicht betroffen fühlen, das Risiko in der Regel geringer ein als Personen, die erwarten, im Eintrittsfall stark geschädigt zu werden (z. B. Wohnen in einem Erdbebengebiet). Dies gilt auch für schleichende Risiken, die oft einen unmittelbaren Bezug zum Alltagsleben haben, wie etwa die Nahrungsaufnahme. Für Allergiker beispielsweise beinhaltet die Vorstellung, Nahrung zu sich zu nehmen, die u. U. unerwartete Bestandteile hat, eine größere Bedrohung, als für Personen, die alles bedenkenlos zu sich nehmen können.

Kontrollierbarkeit

Risiken, die für den einzelnen als nicht kontrollierbar erscheinen, werden als sehr bedrohlich eingeschätzt; dazu gehören Ereignisse, die durch eigenes Handeln nicht verändert werden können. Menschen, die in einer für sie nicht kontrollierbaren risikoreichen Situation leben, haben meist nicht viele Alternativen, um mit der Bedrohung umzugehen. In diesen Situationen kommt es häufig vor, daß Menschen das Risiko gänzlich leugnen, sich mit den einfachsten Lösungsstrategien in Sicherheit wiegen (Wunschdenken), Zuflucht in religiösem Vertrauen suchen oder fatalistische Gedanken äußern (Rippetoe und Rogers, 1987). Welche Verhaltensweise letztlich gewählt wird, hängt auch von der sozialen Bezugsgruppe ab, in der Verhaltensmodelle geboten oder andere Verhaltensweisen sanktioniert werden. Durch diese „Umdeutungsprozesse“ kann für viele die Kontrolle über die Ereignisse zurückgewonnen werden (Bell et al., 1996).

Risiken, die zwar nicht direkt verändert werden können, bei denen aber Flucht- oder Schutzmöglichkeiten gesehen werden, erscheinen weniger bedrohlich. Ein Beispiel ist das Ozonloch. Gegen die potentiellen negativen Folgen können sich Menschen unmittelbar schützen, in dem sie vermeiden, sich der Sonne auszusetzen (Matthies, 1995). Daher wird das Ozonloch als weniger bedrohlich eingeschätzt als die Gefahren durch Radioaktivität.

Bekanntheit/Wissen

Je nach dem Wissensstand über Risiken können diese anders beurteilt werden. Oft wird angenommen, daß Personen die Sachverhalte, die sie nicht genau kennen und deren Schädlichkeit sie nicht einschätzen können, als sehr bedrohlich empfinden. Das Verhältnis zwischen Wissen und der Einschätzung der Bedrohlichkeit ist jedoch komplexer. Beispielsweise haben Schüler, nachdem sie selbst Radonmeßproben vorgenommen und weitere Informationen erhalten haben, die Gefährlichkeit des Stoffs geringer eingeschätzt als das vor den Messungen der Fall war (Hazard und Seidel, 1993). Es kommt allerdings ebenso vor, daß gerade ein genaues Wissen über ein Risiko zu einer hohen Bedrohungseinschätzung führt. Hausbesitzer in Florida, die ein höheres Wissen über Radon aufwiesen, schätzen die Bedrohung größer ein als diejenigen, deren Wissen geringer ist (Schütz et al., 1997). Das Wissen allein ist für die Bedrohlichkeitseinschätzung nicht entscheidend. Es ist immer vermischt mit anderen Faktoren, wie beispielsweise Schutzmöglichkeiten, Werthaltungen oder Einstellungen.

Einstellungen

Vor allem für die Einschätzung und Akzeptanz von Großtechnologien haben sich Einstellungen als wichtiger Faktor erwiesen. Bewertungen beispielsweise der Kernenergie sind oft in generelle Werthaltungen und Ideologien eingebettet (Rohrmann, 1995b). So betonen Personen mit konservativer Wertorientierung eher die Chancen und Vorteile bei der Nutzung einer Technologie. Personen mit liberaler Werthaltung betonen dagegen eher die Schadenpotentiale (Wildavsky und Dake, 1990).

Gewöhnung

Gut bekannte und vertraute Risiken werden in der Regel als nicht so bedrohlich eingeschätzt wie neue, noch unbekannte (Bergbau vs. Gentechnologie) (Slovic et al., 1986). Dabei muß allerdings beachtet werden, daß noch andere Dimensionen bei solchen Risikovergleichen eine Rolle spielen (z. B. das Schadenspotential, die Ausbreitung von Folgeschäden usw.). Zudem gibt es auch Risiken, die den Personen vertraut sind, an die sie sich aber aus verschiedenen Gründen nicht gewöhnen, geschweige denn, sie akzeptieren können (z. B. belastete Nahrung, Luftverschmutzung) (Matthies, 1995).

1.2.4.1

Kognitive Faktoren

Besonderes Gewicht unter den individuellen Bedingungen kommt den kognitiven Faktoren zu (s. auch WBGU, 1993). Prozesse der Verarbeitung von Informationen (Aufnahme, Erinnerung, Wiedergabe) sind für die Einschätzung eines Risikos relevant. Bei der Untersuchung entsprechender Fragestellungen werden Personen in der Regel nach ihrer Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit von bestimmten Ereignissen gefragt. Solche Wahrscheinlichkeitsschätzungen unterliegen dabei häufig bestimmten systematischen Fehlern. Diese Schätzfehler entstehen durch „Faustregeln des Denkens“ (Heuristiken), die die meisten Menschen im Alltag für die Einschätzung von Ereignissen erfolgreich verwenden. Für die Wahrscheinlichkeitsschätzung von Risiken sind sie aber oft ungeeignet. Unter dem Gesichtspunkt dieser Heuristiken wird v. a. die unterschiedliche Einschätzung von sog. Laien und sog. Experten untersucht (Slovic et al., 1985).

Experten beziehen sich in der Regel auf statistische Daten, aus denen nach verschiedenen Methoden Risikowahrscheinlichkeiten berechnet werden. Ihre Perspektive auf Risiken ist dementsprechend durch eine ausschließlich technische Analyse geprägt (Renn et al., 1992; Rayner, 1993). So verwenden Ex-

perten häufig Risikoabschätzungen der folgenden Art (Jungermann und Slovic, 1993b) (Kap. C):

- Risiko als Wahrscheinlichkeit eines Schadens,
- Risiko als Ausmaß des möglichen Schadens (z. B. die Anzahl der erwarteten Todesfälle),
- Risiko als Funktion (meist das Produkt) von Wahrscheinlichkeit und Ausmaß des Schadens,
- Risiko als Varianz der Wahrscheinlichkeitsverteilung aller möglichen Konsequenzen einer Entscheidung usw.

Für Laien spielen außer der Eintrittswahrscheinlichkeit eine Reihe weiterer Faktoren (Werte, Einstellungen, soziale Einflüsse, kulturelle Identität) bei der Einschätzung von Risiken eine Rolle. Aber auch zwischen Experten besteht keineswegs immer Einigkeit über die Abschätzung von Risiken, denn die statistisch-technischen Methoden bieten viel Spielraum für Interpretationen und Fehleinschätzungen. So konnte gezeigt werden, daß Experten z. B. bei der Einschätzung von Bleibelastungen für Kinder auf sehr unterschiedliche Heuristiken und Erfahrungswerte zurückgriffen und somit auch zu verschiedenen Bewertungen der gegebenen Situation kamen (Nothbaum, 1997).

Heuristiken, die für Laien typisch sind

Verfügbarkeitsheuristik: Ereignisse, die leicht zu erinnern sind, werden für wahrscheinlicher gehalten als solche, die weniger im Gedächtnis verfügbar sind (z. B. das Risiko eines Flugzeugabsturzes im Vergleich zu einer Herz-Kreislauf-Erkrankung). Verfügbar sind Ereignisse, über die häufig oder vor kurzem in den Medien berichtet wurde oder die besonders einprägsam sind. Dagegen werden weniger spektakuläre Risiken unterschätzt, obwohl das Risiko, an einer Herz-Kreislauf-Erkrankung zu sterben, um ein vielfaches höher ist als bei einem Flugzeugabsturz ums Leben zu kommen.

„Spielerfalle“: Laien geraten gern in die Spielerfalle. Aus der Beobachtung von Personen bei Würfelspielen entwickelt, ist im Risikobereich damit gemeint, daß Menschen, die gerade das Opfer eines Schadenfalls geworden sind, glauben, daß in nächster Zeit nicht mit solchen Ereignissen zu rechnen ist. Dem liegt die oft trügerische Beurteilung zugrunde, daß ein ohnehin schon unwahrscheinliches Ereignis nicht mehrmals hintereinander auftritt. Die Eintrittswahrscheinlichkeit läßt aber keine Aussagen über den Zeitpunkt oder die Aufeinanderfolge von Ereignissen zu (Burton et al., 1978).

Prospect-Theorie (Framing): Ereignisse werden als risikoreicher eingeschätzt, wenn die (potentiellen) Verluste und nicht die „Gewinne“ (z. B. Überlebende) beziffert werden. So wird ein und dasselbe Risiko dann als größer beurteilt, wenn es heißt, daß mit einer Todesrate von 60% zu rechnen ist, aber als

geringer eingeschätzt, wenn von einer Überlebensrate von 40% gesprochen wird (Kahneman et al., 1982).

Über die kulturellen, sozialen und individuellen Faktoren hinaus ist auch eine Reihe von Eigenschaften der Risiken und ihrer Folgen für die Einschätzung ausschlaggebend. Über die Beschaffenheit dieser Merkmale (z. B. die sinnliche Erfahrbarkeit eines Risikos) besteht in der Regel ein hoher sozialer Konsens. So macht es z. B. für die meisten Menschen einen Unterschied, ob sehr viele Personen auf einmal umkommen oder die gleiche Anzahl über einen längeren Zeitraum.

Die vorgestellten soziokulturellen, sozialen und individuellen Faktoren sind für die Wahrnehmung und den Umgang mit Risiken maßgeblich. Es sind diese Faktoren, die zu gelegentlich großen Unterschieden zwischen Ländern, Gemeinden, bestimmten gesellschaftlichen Gruppen und Individuen in ihren risikobezogenen Handlungen führen. Für eine erfolgreiche Bewältigung der anstehenden Herausforderungen einer Welt im Wandel und den damit auch verbundenen globalen Risiken müssen die genannten Faktoren stärkere Berücksichtigung finden. Die jeweiligen Werte und Wahrnehmungen müssen also ernst genommen werden und angemessen Eingang in die Aushandlung von Risikobereitschaften finden. Dies betrifft nicht nur den politischen Handlungskontext, sondern muß sich auch in der Forschung niederschlagen. Vielfach ist die Datengrundlage zur Wahrnehmung und Bewertung globaler Umwelttrisiken sehr schwach und insbesondere mangelt es an kulturvergleichenden Studien, die eine wichtige Grundlage für globale Risikostrategien liefern könnten.

1.3

Organisatorische Risikoverstärker und -abschwächer

1.3.1

Verstärkung von Risikopotentialen durch Organisationsstrukturen

Großtechnische Organisationsformen wie man sie beispielsweise bei Kernkraftwerken, großchemischen Anlagen, Staudämmen, militärischen Waffensystemen usw. vorfindet, weisen Merkmale auf, die unvermeidbare Risikopotentiale in sich bergen, so daß es bei organisatorischen oder technischen Fehlern oder unvorhersehbaren Ereignisketten zu Unfällen und Katastrophen kommen kann. Gleichzeitig können Organisationsstrukturen aber auch ein hohes Maß an Schutz gegenüber dem Risikopotential

bieten, wenn sie sorgfältig geplant und eingesetzt werden. Die Verstärkung der Risiken geht oft von komplexen organisatorischen Strukturen, Eigenschaften und Ordnungsprinzipien aus.

Organisationen und deren Management spielen heute eine immer wichtigere Rolle, um dem wachsenden Bedarf an Steuerungs- und Regulationsfähigkeit sowie Effektivität und Effizienz gerecht werden zu können. Die Organisationen können dabei eine unübersehbare Komplexität erreichen, die Fehler wahrscheinlich macht und damit Risiken in sich birgt. Dies gilt nicht mehr nur für Großtechnologien, sondern in zunehmenden Maß auch für politisch-gesellschaftliche, ökonomische und infrastrukturelle Organisationsformen. Dazu zählen beispielsweise ein Kernkraftwerk als eine Organisationsform, aber auch das organisatorische Zusammenspiel aller Kernkraftwerke in einem Land, oder Organisationsstrukturen, in denen Großtechnologien mit politischen oder ökonomischen Organisationsstrukturen verknüpft sind. Meistens sind diese komplexen Verknüpfungen weder eindeutig dezentral noch zentral organisiert und gesteuert. Oft sind sie Zwitterwesen, die versuchen, zentrale und dezentrale Steuerungsansätze miteinander zu vereinen, was zu Problemen und Risiken durch immanente Widersprüche führen kann.

Es geht dabei nicht um die herkömmlichen Ursachen von Risiken durch Bedienungsfehler, Konstruktions- oder Ausrüstungsmängel oder Mißachtung von Sicherheitsvorschriften. Es geht auch nicht um Risikofaktoren, die sich aus der Übergröße der Organisation oder schlechtem Management ergeben. Es geht vielmehr um grundsätzliche Eigenschaften von Organisationen wie Überkomplexität und Koordinierungsaufwand zwischen aufeinander bezogenen Organisationselementen und handelnden Personen, die zum Versagen führen können.

So lassen sich innerhalb einer Organisationsstruktur verschiedene Komplexitätsgrade auf unterschiedlichen Organisationsebenen identifizieren. Auf der untersten Ebene sind die Elemente, Einheiten und die damit verbundenen Handlungen und Wechselbeziehungen relativ „einfach“ strukturiert. Auf den nächst höheren Organisationsebenen nimmt der Grad der Komplexität jedoch immer mehr zu. Je höher die Organisationsebene, desto komplexer einerseits die auf dieser Ebene notwendigen Elemente, Einheiten und Aggregate sowie andererseits die damit verbundenen funktionalen Handlungen und Wechselbeziehungen mit anderen Organisationselementen und -ebenen.

Hinzu kommt, daß die Elemente, Einheiten und Aggregate in der Organisationsstruktur oft sehr eng miteinander verknüpft sind, um so wenig Reibungsverluste wie nötig zu haben. Damit sind auch keine

Spielräume, Puffer oder Elastizitäten vorgesehen, so daß jeder Vorgang unmittelbar andere Vorgänge oder Elemente beeinflußt und dort Konsequenzen hervorruft. Ein unerwartetes Ereignis in Form eines Fehlers oder Störfalls zieht damit unweigerlich weitere Vorgänge und Ereignisse nach sich, deren Konsequenzen zu Ketten von Ereignissen führen können und damit zu Unfällen oder gar Katastrophen, wenn nicht organisatorische Sicherheitsstandards, Strategien zur Fehlervermeidung, Gegenmaßnahmen, Frühwarnung usw. zwischengeschaltet sind (Kap. E 1.1). Da jedoch nicht an jeder Stelle und für alle Situationen geeignete Bewältigungsstrategien eingeplant werden können, sind in vielen Fällen Spielräume, Puffer und Elastizitäten notwendig, um ggf. unerwartete Veränderungen auffangen und verarbeiten zu können, ohne dabei an organisatorischer Stabilität einzubüßen.

Darüber hinaus existieren zwischen den Organisationsebenen, ihren Abläufen und Elementen vielfältige Verzweigungen, mehrfache funktionale Verknüpfungen, Rückkopplungsschleifen und Abfolgen von komplexen Wechselbeziehungen. Immer gleichbleibende Handlungen und Beziehungen werden von den Beteiligten in ihrem Ablauf erwartet, insofern sind sie überschaubar und liefern keine höhere Risikoanfälligkeit. Dagegen bieten komplexe Handlungen und Beziehungen, die von den Beteiligten häufig nicht erwartet werden, Angriffspunkte zur Verstärkung von Risikopotentialen. In solchen Situationen werden mehrdeutige und indirekte Informationen häufig falsch interpretiert und verstärken so das Problem der unerwarteten Komplexität.

1.3.2

Abschwächung von Risikopotentialen durch Organisationsstrukturen

Ebenso wie Organisationsstrukturen und deren Eigenschaften Risikopotentiale verstärken können, können sie auch bei geeigneten organisatorischen Anstrengungen das Risiko abfedern und so eine hohe Zuverlässigkeit im Umgang z. B. mit Großtechnologien bieten. Dabei ist die Verbesserung der Organisationsstrukturen genauso wichtig wie technische Verbesserungen. Das organisatorische Risikopotential wird aber nicht durch verstärkte autoritäre Befehlsstrukturen verringert. Vielmehr müssen den vor Ort Verantwortlichen größere Handlungs- und Entscheidungskompetenzen eingeräumt werden. Dahinter steht die Beobachtung, daß übergeordnete Entscheidungsträger und führende Manager häufig nur eine ungenügend mit der Realität übereinstimmende Vorstellung vom tatsächlichen Ablauf des Sachverhalts haben.

Die Frage nach der optimalen Struktur einer Organisation ist v. a. davon abhängig, welches Organisationsziel verfolgt wird und wie sich die dafür notwendigen Hierarchien von Verantwortlichkeiten und Kompetenzen zusammensetzen. Um die Frage beantworten zu können, sollen im folgenden 4 Kategorien von Organisationsstrukturen unterschieden werden (Perrow, 1984).

Wenig komplexe Organisationen mit Handlungsspielräumen

In Organisationen mit geringer Komplexität und genügend großen Spielräumen und Puffern in den Handlungsabfolgen, wie sie z. B. in der verarbeitenden Industrie zu finden sind, können Verantwortlichkeiten und Entscheidungen sowohl zentral als auch dezentral gesteuert werden, um das Risikopotential abzuschwächen. In diesen Organisationsstrukturen ist der Grad der Komplexität nur gering ausgeprägt, was aufgrund des Organisationsziels auch nicht erforderlich ist, so daß Fehler oder Störungen von einer zentralen oberen Entscheidungsebene oder dezentral unmittelbar an Ort und Stelle bewältigt werden können.

Wenig komplexe Organisationen ohne Handlungsspielräume

Für Organisationen mit geringer Komplexität, aber mit direkten Wechselbeziehungen wie z. B. bei Staudämmen, ist eine zentrale Steuerung der Verantwortlichkeiten und Zuständigkeiten am besten geeignet, um organisatorische Risikopotentiale zu verringern. Die Entscheidungsfindung kann also organisatorisch nahezu auf einer führenden Managementebene zusammengefaßt werden. Das ist deshalb sinnvoll, weil Funktionen und Aufgaben gleichbleiben und organisatorische Abläufe sichtbar und geradlinig verlaufen. Fehler und Störungen werden von vornherein im Ablauf mit eingeplant. Das zentral leitende Management sieht für derartig erwartete Fälle Gegenmaßnahmen vor, die vom Personal vor Ort ohne Rückkopplung ausgeführt werden. Aufgrund der unmittelbar aufeinander bezogenen Handlungen und Wechselbeziehungen müssen Reaktionen schnell, direkt und präzise erfolgen, um das Fortpflanzen von Fehlern zu vermeiden.

Komplexe Organisationen mit Handlungsspielräumen

In komplexen Organisationen mit Spielräumen, Puffern und Elastizitäten in den Wechselbeziehungen, wie beispielsweise in Universitäten oder Ministerien, sollten die Verantwortlichkeiten und Zuständigkeiten möglichst dezentral verortet sein, um organisatorische Risikopotentiale abfangen zu können. Die Verteilung von Funktionen und Aufgaben auf ver-

schiedene Positionen und Zuständigkeiten wirken dem organisatorischen Risikopotential der Komplexität entgegen. Treten Fehler oder Störungen auf, können so ungeplant oder aus dem Stegreif Komponenten und Ausrüstung ersetzt und alternative Strategien gewählt werden. Es steht ausreichend Spielraum in Form von Zeit, Ressourcen und Alternativen zur Verfügung, um mit Störungen fertig zu werden und die Auswirkungen zu minimieren. Dazu muß das an der Störungsquelle beschäftigte Personal die Möglichkeit haben, die Lage selbst zu analysieren und zu bewerten, um dann die geeigneten Gegenmaßnahmen einzuleiten.

Hochkomplexe Organisationen ohne Handlungsspielräume

Für eine hochkomplexe Organisation mit nahezu keinen Spielräumen und Puffern in den organisatorischen Wechselbeziehungen, ist weder eine dezentrale noch eine zentrale Struktur geeignet. Denn in diesen Organisationen gibt es sehr unterschiedliche Anforderungen zur Bewältigung von Fehlern und Storfällen. Für Strukturen mit zentraler Steuerung sprechen die unmittelbar aufeinander bezogenen Handlungen und Wechselbeziehungen, wodurch Entscheidungen unverzüglich ausgeführt werden würden. Dagegen spricht der hohe Grad der Komplexität für eine dezentrale Struktur, die mit unerwarteten Ereignissen oder Störungen besser fertig werden kann. Dezentralität gewährleistet dann eine sorgfältige Fehlersuche durch das Personal vor Ort. Am besten schneiden in diesen Fällen gut durchdachte Mischformen ab, in denen man eine Art von „Subsidiarität“ verankern sollte, wonach die meisten Aufgaben selbständig auf den jeweiligen Ebenen ausgeführt und nur wichtige zentrale Entscheidungen von oberen Hierarchieebenen gefällt werden. Dieses Prinzip schließt ein, daß in jeder Situation und an jedem Ort genügend Handlungsspielräume, Puffer und Elastizitäten gegeben sind. Obwohl dies die bestmögliche Struktur für hochkomplexe Organisationen darstellt, bleibt ein beträchtliches organisatorisches Risikopotential bestehen.

Die 4 Kategorien zeigen, daß sich wenig komplexe Organisationsstrukturen selbst steuern und regulieren können, da sie ihre Strukturen aus eigener Kraft verbessern können. Daneben existieren komplexere Organisationsstrukturen, deren Risikopotential nur mit erheblichem Aufwand verringert werden kann. Darüber hinaus hat die moderne Gesellschaft hochkomplexe Organisationsstrukturen hervorgebracht, bei denen es sehr großer organisatorischer Anstrengungen bedarf, um das hohe Risikopotential zu senken. Dabei bleibt immer ein organisatorisches Risikopotential bestehen, weil es für diese hochkomplexen Organisationen keine optimale

Struktur gibt. Auch hier spielt die Frage nach dem zu erwartenden gesellschaftlichen Nutzen und der gesellschaftlichen Akzeptanz des erhöhten Risikopotentials eine wesentliche Rolle.

1.3.3 Hochrisikotechnologien vs. hochzuverlässige Organisationsstrukturen

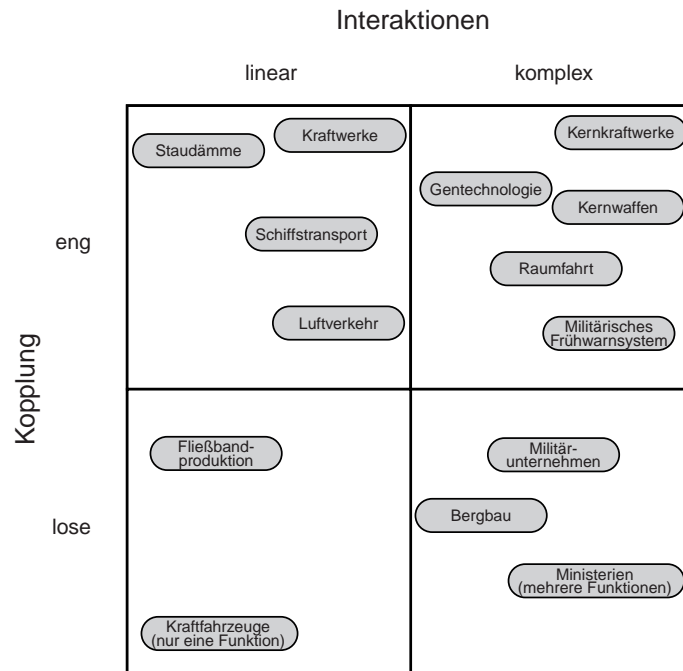
1.3.3.1 Perrows Hochrisikotechnologien

Charles Perrow (1984) unterscheidet bei Hochrisikotechnologien (high risk technologies) 4 Ebenen von Komplexität: Teile, Einheiten, Subsysteme und System. Die unterste Ebene bilden die Teile, das sind die kleinsten Komponenten eines Systems; im Fall einer großtechnischen Organisation sind es Bauteile. Die 2. Ebene ist ein funktional aufeinanderbezogenes Gebilde von zusammengehörenden Teilen, die Einheit. Auf der 3. Ebene wachsen verschiedene Einheiten zu einem Aggregat, dem Subsystem, zusammen. Alle Subsysteme verbinden sich auf der obersten Ebene zum Gesamtsystem. Was über das Gesamtsystem hinausreicht, gehört zu einer möglichen 5. Ebene der Systemumwelt. Je nach Systemebene birgt der jeweilige Komplexitätsgrad unterschiedliche Risiken in sich. Direkte Folgen der Risiken bei Stör- oder Unfällen auf den verschiedenen Ebenen haben damit unterschiedliche Qualitäten und Ausmaße für die Systemumwelt. Einzelne Stör- oder Unfälle könnten Auslöser für Kettenreaktionen sein (Kap. E 1.1).

Zwischen den Systemebenen, ihren Abläufen und Elementen gibt es Verzweigungen, funktionale Verknüpfungen, Rückkopplungsschleifen und Sprünge von linearen zu komplexen Interaktionen in enger Nachbarschaft. Lineare Interaktionen sind im Organisationsablauf bekannt, erwartbar und gut sichtbar. Komplexe Interaktionen sind nicht vertraut, ungeplant und unerwartet. *Komplexe Systeme* lassen sich im Gegensatz zu linearen folgendermaßen beschreiben:

- enge Nachbarschaft von Elementen und Systemebenen, die nicht linear, sondern komplex miteinander verknüpft sind,
- zahlreiche nichtlineare Verknüpfungen von Mehrfachfunktionen zwischen den Systemebenen,
- neue oder ungeplante Rückkopplungsschleifen,
- zahlreiche aufeinander bezogene Mehrfachkontrollen und Steuerungsinstanzen,
- mehrdeutige oder indirekte Informationen,
- unvollkommenes Verständnis bestimmter Abläufe und Prozesse.

Abbildung E 1.3-1
 Grad der Interaktion und
 Kopplung bei verschiedenen
 Organisationen.
 Quelle: Perrow, 1984



Lineare Systeme weisen hingegen folgende Tendenzen auf:

- räumliche Trennung von Elementen und Ebenen,
 - festgelegte Verknüpfungen und getrennte Subsysteme,
 - wenig Rückkopplungsschleifen,
 - unabhängige Kontrollen mit einer Funktion,
 - direkte Informationen und umfassende Kenntnis.
- Ein weiteres Merkmal in Perrows Organisationen sind die Kopplungen. Eine enge Kopplung bedeutet, daß zwischen den miteinander verknüpften Elementen kein Spielraum oder Puffer existiert. Die Elemente besitzen auch keine elastischen Fähigkeiten, so daß jeder Vorgang oder jedes Ereignis des einen Elements die Vorgänge eines anderen Elements unmittelbar beeinflußt. Lose Kopplungen können dagegen Ereignisse, Störungen oder unerwartete Veränderungen auffangen und verarbeiten, ohne dabei Stabilität einzubüßen. Eng gekoppelte Organisationen reagieren viel direkter, so daß eine Kette von Ereignissen und Reaktionen nachfolgen kann. Folgende Tendenzen charakterisieren Systeme mit engen Kopplungen:
- Verzögerungen des Ablaufs sind nicht möglich,
 - Ablauf ist unveränderbar,
 - Organisationsziel läßt sich nur mit einem Verfahren bzw. Vorgehen verwirklichen,
 - geringer Spielraum bei Stoffen, Ausrüstung und Personal,
 - Puffer und Redundanzen sind durch die Organisationsart vorgeplant,

• Ersetzung von Stoffen, Ausrüstung und Personal ist nur begrenzt und vorgeplant möglich.

Lose gekoppelte Systeme weisen folgende Tendenzen auf:

- Verzögerungen im Ablauf sind möglich,
- Ablauf ist veränderbar,
- alternative Verfahren bzw. Vorgehensweisen sind möglich,
- mehr oder weniger großer Spielraum bei Stoffen, Ausrüstung und Personal ist verfügbar,
- Puffer und Redundanzen stehen durch zufällige Umstände zur Verfügung,
- Ersetzung von Stoffen, Ausrüstung und Personal ist bei Bedarf möglich.

Perrow verknüpft die Dimensionen Komplexität und Kopplung, um den Grad der Interaktion und der Kopplung bei verschiedenen Organisationen einordnen zu können. In Abb. E 1.3-1 sind verschiedene Organisationen in einer solchen Matrix dargestellt.

Die Verstärkung von Risiken durch Organisationsstrukturen und Systemeigenschaften läßt sich nach Ansicht von Perrow auf 3 wesentliche Kennzeichen moderner Großorganisationen zusammenfassen, die Unfälle bei komplexen Technologien geradezu heraufbeschwören: hierarchische Entscheidungsstrukturen, Diffusion von persönlicher Verantwortung und zeitaufwendige Kommunikationsstrukturen. Allerdings sind weitere empirische Studien entstanden, die auf Strukturmerkmale sog. hochzuverlässiger Organisationsstrukturen (high-reliability organizations) verweisen, die auf das Management von großtechnischen Risiken abgestimmt sind. Aber

auch diese Studien kommen zu dem Schluß, daß besondere organisatorische Anstrengungen und Innovationen erforderlich sind, um den zusätzlichen Bedarf an Sicherheitsmanagement bei großtechnischen Risiken zufriedenzustellen (Perrow, 1984, 1992).

Auf die Frage nach der optimalen Organisationsstruktur für bestimmte Systeme in Bezug auf die Hierarchie von Verantwortlichkeiten und Kompetenzen wurde bereits im vorangegangenen Kapitel eingegangen.

Problematisch in Bezug auf eine geeignete organisatorische Bewältigungsstruktur bleiben also jene Risikopotentiale, die durch eng gekoppelte und hochkomplexe Organisationen (Abb. E 1.3-1: Kasten rechts oben) hervorgerufen werden. Empirische Studien haben gezeigt, daß amerikanische Kommissionen, die die Atomindustrie überwachen, sich durchaus mit Vorschlägen für optimale Organisationsstrukturen in Kernkraftwerken beschäftigen. Die Kommission erkannte, daß zentralisierte wie dezentralisierte Strukturen für eine optimale Struktur notwendig sind. Die Einführung dezentraler Strukturen etwa auf der Ebene der Operateure war jedoch nicht mit der zentralisierten Gesamtstruktur der Organisation vereinbar. Deshalb befürworteten die Kommission und das leitende Management eine zentralisierte Struktur.

1.3.3.2

Rochlins hochzuverlässige Organisationsstrukturen

Welche Eigenschaften müssen große, komplexe Organisationen besitzen, damit sie ihre Organisationsstruktur optimieren können? Auf diese Frage gibt die Forschung über sog. hochzuverlässige Organisationsstrukturen einige Antworten (Weick, 1987; Roberts und Gargano, 1990; Roberts, 1989; LaPorte und Consolini, 1991; Rochlin, 1993; Schulman, 1993). Darunter wird Zuverlässigkeit als eine vom Management ausgehende Eigenschaft verstanden, wobei Intervention, Antizipation und Überwachung die antreibenden Kräfte bilden. Organisationen, die hohe Zuverlässigkeit anstreben, sind sich folgender Probleme bewußt (Rochlin, 1993):

- Fehler und Irrtümer sind allgegenwärtig und heimtückisch und können überall auftauchen; der Preis des Erfolgs ist damit eine immerwährende Wachsamkeit.
- Die Quellen von Fehlern und Irrtümern sind dynamisch und nicht statisch, so daß die Überwachungsmechanismen selbst stetig erneuert und wieder belebt werden müssen.
- Die Betriebsumwelt ist eine permanente Quelle der Gefahr, die eine regelmäßige Wachsamkeit er-

fordert, gerade auch (und besonders) zu jenen Zeiten, in denen die Dinge gut zu laufen scheinen (Gefahr der Nachlässigkeit).

- Redundante Verfahren und Methoden zur Problemlösung müssen auf der operationalen Ebene aufrechterhalten werden. Dem Druck, Prozesse durch die Einführung einer einzigen „besten“ Lösung aufzulösen oder zu „rationalisieren“, muß widerstanden werden.
- Vielfache gleichzeitige informelle Organisationsstrukturen müssen geschaffen, aufrechterhalten und angewendet werden, um sich Eventualitäten anzupassen (strukturelle Variationen gemäß der Natur der Probleme).
- Es müssen sowohl organisatorische Verpflichtungen zur Antizipation vorhanden sein als auch reaktive Verfahren und Methoden, die sich mit realen und potentiellen Problemen beschäftigen.
- Bestimmte organisatorische Einheiten müssen fähig sein, beginnende oder latente Fehler und Irrtümer ausfindig zu machen.
- Es liegt eine Unfähigkeit und Abgeneigtheit vor, Grenzen der Zuverlässigkeit zu testen. Lernen durch Versuch und Irrtum wird als zweitrangig betrachtet.
- Selbstverbesserung und Selbstregulierung sollten nicht beschränkt werden, solange organisatorische Ressourcen und Zeit zur Verfügung stehen, so daß zusätzliche Informationen als Mittel der Kontrolle und der Begrenzung von Ungewissheiten immer grenzkosteneffektiv sind.
- Die Aufgabe einer aktiv durchgeführten Fehlersuche würde nur vereinfacht und nicht aufgehoben oder in ihrer Bedeutung verringert, auch wenn eine komplette formale Analyse zur Verfügung stehen würde.

Zusammengefaßt läßt sich festhalten, daß zuverlässige Organisationen zwar nach vollkommener Perfektion streben, aber niemals erwarten, sie zu erzielen. Sie fordern vollständige Sicherheit, erwarten sie aber nicht. Sie fürchten sich zwar vor Überraschungen, aber sie antizipieren sie auch. Sie sprechen von Zuverlässigkeit, betrachten sie aber niemals als selbstverständlich.

1.4

Ökonomische Einflußfaktoren

Demokratisch orientierte Politiksysteme, insbesondere solche mit föderalem Staatsaufbau und marktwirtschaftlich geprägtem Wirtschaftssystem, vermögen durchaus risikomindernd zu wirken und lassen auch Züge einer Langfristorientierung erkennen. Unverkennbar ist jedoch, daß es eine Reihe von in-

stitutionellen bzw. ökonomisch relevanten Risikoverstärkern gibt, deren Einfluß es zu mildern gilt.

Unter globalen Aspekten kommt hierbei den sog. institutionellen Defiziten eine besondere Rolle zu. Hierzu gehören fehlende Eigentumsrechte an global relevanten Umweltgütern bzw. Ressourcen. Dies hat zur Konsequenz, daß Vermögensschäden nicht geltend gemacht werden können und die Gefahr einer Übernutzung (Allmendeproblem) wichtiger Ressourcen besteht. Typisch hierfür sind etwa die Meere oder die Erdatmosphäre. Lösungen müssen in solchen Fällen zumeist auf dem Verhandlungsweg gefunden werden und erweisen sich als schwer durchsetzbar. In seinem Wasser-Gutachten (WBGU, 1998a) hat der Beirat auf die Implikationen solcher institutionellen Defizite aufmerksam gemacht und Vorschläge zur Problemlösung unterbreitet.

In die gleiche Richtung wirken ein fehlendes globales Haftungsrecht, das die Einklagung von Vermögensschäden ermöglicht, sowie eine noch sehr lückenhafte internationale Wettbewerbsordnung. Letztere muß sich v. a. der Frage annehmen, inwieweit die Nichtberücksichtigung bestimmter Umweltstandards als unzulässige Wettbewerbsverfälschung interpretiert werden kann (WBGU, 1996a). Die Ausformulierung von Regeln genügt hierbei zumeist nicht, wichtig sind v. a. ihre Umsetzung bzw. die Festlegung von Sanktionsmechanismen im Fall eines Regelverstößes.

Risikoverstärkend wirken in jedem Fall politische Instabilitäten, Korruption, mangelndes staatliches Durchsetzungsvermögen und inflationäre Rahmenbedingungen. Sie lösen bei den meisten wirtschaftlichen Akteuren eine Kurzfristorientierung der Planungen und damit eine Unterbewertung sog. Langfristrisiken aus. Hier wird deutlich, wie wichtig auf der globalen Ebene die Berücksichtigung der konstituierenden Prinzipien einer Marktwirtschaft (also klare Zuweisung von Eigentumsrechten, Durchsetzung des Haftungsprinzips, Geldwertstabilität und Konstanz der Wirtschaftspolitik usw.) ist. Gerade die jüngsten Ereignisse in Asien haben gezeigt, wie freie internationale Liquidität die Schwächen einzelner Volkswirtschaften aufzudecken vermag und spekulative Reaktionen dann krisenverschärfend wirken können.

Risikoverstärkend sind auch Fälle gravierender Armut. Der Beirat hat bereits in seinem ersten Jahresgutachten (WBGU, 1993) darauf aufmerksam gemacht, daß Armutsbekämpfung ein erster wichtiger Schritt für eine Langfristorientierung und damit für mehr Umweltschutz und Risikominderung ist. Nicht immer ist die Steigerung der Entwicklungshilfe die Lösung des Problems, in vielen Fällen steht eher die Überwindung von Korruption, Tribalismus, Bürgerkrieg und politischer Instabilität im Vordergrund.

Globalisierung

Umstritten ist die Frage, inwieweit Globalisierung und Internationalisierung der Wirtschaft risikoverstärkend wirken, weil diese Begriffe sehr unterschiedliche Interpretationen zulassen. Im klassischen Sinn beschreibt der Begriff der Globalisierung die räumliche Ausweitung der Absatz- und Beschaffungsmärkte. Dies wirkt in der Regel wettbewerbsverschärfend, was – falls es bei den Umweltstandards nicht zu einem *race to the bottom* kommt – grundsätzlich zu begrüßen ist. In einzelnen Fällen haben es überkommene Wirtschaftsbereiche aber schwer, sich gegenüber den Großunternehmen der Industrienationen mit ihrem Skalenvorsprung und den ausgebauten Vertriebswegen durchzusetzen. Unter Risikoüberlegungen wichtiger ist aber, daß über die räumliche Ausweitung der Märkte die globale Vernetzung wächst und damit die Gefahr globalen Risikogleichschritts steigt. Verschärft wird dieser Trend, wenn die Globalisierung auch zu einer Homogenisierung der Konsumstile und Produktionstechniken führt. Dies mindert die letztlich auf Heterogenität und Regionalität beruhende Krisenresistenz wirtschaftlicher Systeme und verlangt letztlich eine Homogenisierung der wirtschaftlichen Rahmenordnung.

Internationalisierung

Der Prozeß der Internationalisierung wird vielfach mit der Globalisierung gleichgesetzt, sollte von dieser jedoch unterschieden werden, da die Internationalisierung eher über die Eigentumsrechte definiert werden muß. Internationalisierung muß dann mit einer internationalen Ausbreitung von großen Unternehmen gleichgesetzt werden, was in der Regel über den Erwerb von Eigentumsrechten an ausländischen Produktionsstätten bzw. eigene Investitionstätigkeit erfolgt. Damit verbinden sich gleichermaßen Chancen und Risiken. Positive Entwicklungen ergeben sich, wenn es zu einem Geld- und Technologietransfer kommt und multinationale Konzerne sich schon allein aus Imagegründen heraus an gewisse Umweltmindeststandards halten. Probleme können aber auftreten, wenn der Technologietransfer zur selektiven Ausbreitung bestimmter Technologielinien führt (Kasten E 1.4-1). Damit kann sich ein risikoverstärkender Prozeß verschärfen, der sich aus der temporären Dominanz bestimmter Technologiepfade ergibt. So ist der Wechsel von einem Technologiepfad auf einen anderen häufig mit sehr hohen Kosten verbunden. Darum wirken Entscheidungen aus der Vergangenheit aufgrund ihrer Kapitalintensität bzw. der inzwischen ausgeschöpften Vorteile großbetrieblicher Produktion in die Gegenwart hinein und erschweren den Wechsel auf Technologiepfade mit geringerem Risiko. Das Problem ist auch insofern politisch rele-

vant, als es äußerst schwierig ist, rechtzeitig jene windows of opportunity (Bifurkationspunkte) zu erken-

nen, bei denen eine Weichenstellung erfolgen kann oder sollte.

Kasten E 1.4-1

Entwicklung neuer Technologie aus ökonomischer Sicht

Die Entwicklung von Volkswirtschaften wird generell von ihrer Ausstattung mit Ressourcen und von den Institutionen (im Sinn von Regeln) bestimmt, die Anreize für ein bestimmtes Verhalten auslösen (North, 1992). Von unterschiedlichen institutionellen Arrangements gehen unterschiedliche Anreize für Individuen aus, Wissen zu produzieren, zu erwerben und zu nutzen. Dieses gilt auch für Risikowissen. Unterschiedliche Normen und Regeln setzen verschiedene Anreize, Risiken zu erzeugen, nicht zu erzeugen oder zu begrenzen. Die Ökonomie geht grundsätzlich davon aus, daß Dezentralität von Entscheidungen Risiken abschwächt (Hayek, 1991). Diese Annahme beruht auf der Vorstellung, daß künftige Entwicklungen und Zustände in Volkswirtschaften grundsätzlich nicht bestimmbar sind, sondern sich nur mehr oder weniger plausible individuelle Erwartungen bilden lassen. Da der individuelle Wissensstand, die Verarbeitungskapazität, der Wille zur Informationssammlung und -auswertung, die Risikoeinstellung und anderes zwischen den Individuen unterschiedlich ausgeprägt sind, wird eine Vielzahl handlungsleitender Erwartungen gebildet. Die Vielzahl von Erwartungen führt dazu, daß zumindest auch solche Handlungen vollzogen werden, deren Nutzen ihre Kosten übersteigen. Je zentraler dagegen Entwicklungen gesteuert werden und je geringer die Alternativen sind, desto wahrscheinlicher wird es, daß gerade solche Wege eingeschlagen werden, deren Ergebnisse (längerfristig) nicht auf Akzeptanz in einer Gesellschaft stoßen, weil die damit verbundenen Nutzen zu gering sind oder die Kosten zu hoch ausfallen.

Unter bestimmten Umständen können ökonomische Anreize dazu führen, daß im Lauf der Zeit bestimmte Entwicklungspfade bei der Technikentwicklung dominant werden (David, 1985; Arthur, 1989). Dies kann darauf zurückzuführen sein, daß mit Investitionen erhebliche „versunkene“ Kosten verbunden sind. Das sind Kosten, die nur dann amortisiert werden können, wenn die Investitionen in Real- oder Humankapital nur für einen bestimmten Zweck, nämlich den ursprünglich geplanten, genutzt werden. Eine Nutzung für andere Zwecke ist weder technisch noch ökonomisch vorteilhaft. Dieses Kapital wird selbst dann weiter genutzt werden, wenn kostengünstigere Alternativen zur Verfügung stehen. Sogenannte Netzeffekte können diese Effekte verstärken, aber auch selbständig wirken. Unter dem Begriff „Netz“ kann dann beispielsweise ein Schienennetz verstanden werden. Hat sich einmal – auch durch historisch bedingte Zufälligkeiten – ein Schienennetz spezieller technischer Art etabliert, dann ist es vorteilhaft, Erweiterungen dieses Netzes in der gleichen Art vorzunehmen, weil so die Vorteile eines größeren Netzes genutzt werden können und Kosten der Anpassung an Schnittstellen zwischen verschiedenen Netzen nicht anfallen. Im weiteren Sinn können unter einem solchen Netz aber auch spezielle Produktionsstrukturen verstanden werden. Sind einmal derartige Strukturen, z. B. Beziehungen zwischen Rohstofflieferanten, Verarbeitern, Maschinenherstellern, Endproduktherstellern, Verwertern, Beseitigern, entstanden, ist es für Neuanbieter

oder -nutzer vielfach vorteilhaft, sich an die vorhandenen Strukturen anzupassen und sich in ein vorhandenes Netz einzuklinken. Damit wird das Netz vergrößert und es steigt auch in Zukunft der Anreiz, sich diesem Netz anzuschließen.

In Abb. E 1.4-1 sind die durchschnittlichen Kosten der Nutzung für die Technologien 1, 2 und 3 über die Zeit t eingetragen. Die Kostensenkungen sollen aus Netzeffekten resultieren. Betrachtet man zunächst nur die Technologien 2 und 3, dann ist bis t_2 die Technologie 3 die vorteilhaftere, ab t_2 – und damit ab einer bestimmten Netzgröße – die Technologie 2. Diese Technologie kommt aber möglicherweise nicht zur Anwendung, weil in t_2 ein Netz für die Technologie 3 aufgebaut worden ist, das für Technologie 2 fehlt. Hier müßten die einzelnen Nachfrager, die nach Technologie 2 wechseln, hohe Kosten tragen, es sei denn, ein Großteil der Nutzer würde nahezu zeitgleich von 3 nach 2 wechseln. Sind jedoch versunkene Kosten vorhanden, würde aber selbst ein solcher zeitgleicher Wechsel eventuell nicht rentabel sein. Wenn von vornherein bekannt wäre, wie sich die Nutzerzahl eines Netzes und die Kosten der Netznutzung im Lauf der Zeit entwickeln, dann wäre die Technologie 2 von Anfang an genutzt worden, wenn sie längerfristig die kostengünstigere ist. Diese Informationen fehlen aber zunächst, weil Wissen um die konkrete Entwicklung auf den einzelnen Pfaden fehlt. Wenn mit den Technologien verbundene Risiken aber etwa durch Haftung kompensiert werden könnten, wären spezielle Risikoprobleme mit der Wahl eines bestimmten Pfades nicht verbunden. Die Probleme treten erst auf, wenn Risiken nicht kompensiert werden können oder wenn das Verlassen eines einmal eingeschlagenen Pfades neue Risiken, etwa im Umweltbereich birgt.

Daß sich Entwicklungen einstellen, die rückblickend besser nicht realisiert worden wären, ist nicht zu vermeiden, weil Wissen erst durch Erfahrung gesammelt wird. Verstärkt werden diese Risiken, wenn von vornherein bestimmte Entwicklungen forciert werden, so daß der Raum für Alternativen eingeengt wird und neue Risiken nicht frühzeitig erkannt werden können. Institutionen müssen daher Anreize setzen, daß nicht einseitig die Entwicklung bestimmter Verfahren und Produkte gefördert wird, daß durch Beobachtung Risiken gezielt erkannt werden und daß keine künstlichen Anreize gesetzt werden, die ein Einklinken in bestimmte Entwicklungspfade vorteilhaft erscheinen lassen.

Bezogen auf Abb. E 1.4-1 heißt das zunächst, daß die Entwicklung einzelner Technologien nicht gegenüber anderen gezielt bevorteilt werden darf. Wenn z. B. die tatsächlichen Kosten von Pfad 3 durch 3' abgebildet werden können, dann führt eine Subventionierung der Entwicklung (3 statt 3') dazu, daß Technologie 2 von Anfang an nicht verfolgt werden wird. Sollte sich im Lauf der Zeit zeigen, daß mit Pfad 3 hohe Risiken verbunden sind, kann dann nicht auf Alternativen ausgewichen werden. Wird dagegen Technologie 3 von Anfang an mit den vollen Kosten belastet, steigt zumindest die Wahrscheinlichkeit, daß verschiedene Techniken oder Produkte verfügbar sind. Regeln, die eine Bevorzugung spezieller Technologien und Produkte aus politischen oder bürokratischen Präferenzen zulassen, sind somit im Prinzip abzulehnen. Hier stellt sich also die Frage, ob es nicht statt einer gezielten Förderung bestimmter Mainstream-Pfade vorteilhaft sein könnte, auch Alternativen zu diesen Pfaden zu unterstützen.

Es kann nicht ausgeschlossen werden, daß trotz voller Kostenzurechnung zu einzelnen Entwicklungspfaden von Beginn an bzw. bei staatlicher Unterstützung nur ein Pfad beschriftet wird, weil er (vermeintlich) einen entscheidenden Kostenvorteil aufweist. Auch könnte nach einiger Zeit nur noch ein Pfad übrig bleiben, weil andere sich als nicht konkurrenzfähig erwiesen haben (Pfad 1 in Abb. E 1.4-1). Probleme treten hier dann auf, wenn mit diesem Pfad Risiken verbunden sind, die sich erst im Lauf der Zeit zeigen. Je später diese Risiken wahrgenommen werden, desto höher werden die gesellschaftlichen Kosten beim Verlassen dieses Pfads. Wird beispielsweise in Abb. E 1.4-1 zum Zeitpunkt t_1 erkannt, daß mit dem Pfad erhebliche Risiken verbunden sind, welche die Kosten nach oben treiben (Technologie 1' statt 1), hängen die Kosten des Verlassens dieses Pfads davon ab, wann die Risiken entdeckt werden und ob zumindest ansatzweise Erfahrungen auf alternativen Pfaden gesammelt wurden. Hier müssen Institutionen Anreize setzen. Dies kann über Haftungsregeln für Entwicklungsrisiken bei

Privaten und über Anreize zur Zusammenführung von punktuelltem Wissen um realisierte Risiken erreicht werden. Gleichzeitig muß der Staat Wissen mit Kollektivguteigenschaften, z. B. über die Funktion ökologischer Systeme, produzieren lassen. Erst die Zusammenführung kollektiven und privat verfügbaren Wissens ermöglicht es vielfach, Risiken zu erkennen und sie bestimmten Produktionsverfahren oder Produkten zuzuordnen. Darüber hinaus gilt auch hier: Selbst wenn sich im Lauf der Zeit ein Pfad zunächst als der scheinbar vorteilhafteste herausstellen sollte, was sich später aber als Irrtum erweist, wird der Übergang zu anderen Pfaden erleichtert, wenn zumindest in der Anfangsphase der Pfadentwicklung auch Alternativen erforscht und eventuell temporär erprobt werden. Institutionen, die eine Blockierung von Marktzugängen ermöglichen, sind hier ebenso schädlich wie Institutionen, die gezielt Anreize zur Nutzung vorhandener Produkte und Produktionsverfahren im politisch-administrativen Raum setzen.

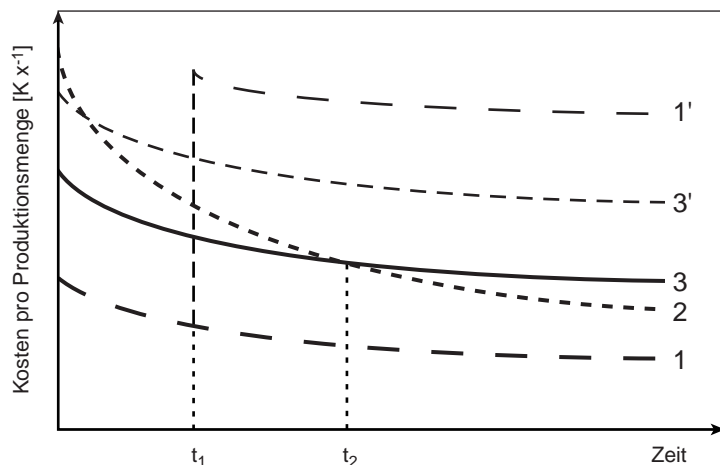


Abbildung E 1.4-1
 Ineffiziente
 Technologiewahl.
 Erläuterungen s. Text.
 Quelle: verändert nach
 Klodt, 1995

2 Regional- und sozialgruppenspezifische Anfälligkeit

2.1

Die Beeinflussung von Schadensausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit

Die Eintrittswahrscheinlichkeit von Risiken des Globalen Wandels und ihr mögliches Schadensausmaß hängen wesentlich davon ab, welches Land und welche sozialen Gruppen betroffen sind.

1. *Schadensausmaß.* Klimarisiken beispielsweise werden erheblich durch die Handlungskapazitäten der betroffenen Länder und die Verwundbarkeit der betroffenen Menschen verstärkt. Vom Klimawandel verursachte Dürren und Überschwemmungen (Risikotyp Zyklon) kosten etwa in Afrika weit mehr Menschenleben als in den USA. Selbst innerhalb Europas werden solche Unterschiede deutlich: Die Oderflut richtete auf der infrastrukturell besser ausgestatteten deutschen Seite weniger Schaden an als in Polen (Kap. D 7). Zur selben Zeit traten auch in China Flüsse über die Ufer. Hier waren fast 800 Tote zu beklagen, 50.000 Häuser wurden zerstört und 3.700 km² Ackerland überflutet, mit der Folge, daß etwa 30.000 t Getreide vernichtet wurden (Koschnick, 1997).

Auch bei Gesundheitsrisiken (Seuchen: Risikotyp Pythia) hängt das Schadensausmaß von den Handlungskapazitäten der Staaten und der Verwundbarkeit der Menschen ab. Während Hepatitis B, Tuberkulose oder Malaria in Industrieländern in vielen Fällen geheilt werden können, kommen die gleichen Krankheiten für Menschen in Entwicklungsländern häufig einem Todesurteil gleich. Stoffrisiken wie beispielsweise durch Unfälle in der Chemieindustrie (Bhopal: Risikotyp Damokles) können ebenfalls unterschiedliche Wirkungen haben: In Entwicklungsländern leben Armutgruppen meist in dicht besiedelten Favelas oder anderen vernachlässigten städtischen Wohnquartieren, die oft nahe an Industrieanlagen, stark befahrenen Straßen, besonders smogbelasteten Vierteln oder entlang malariaverseuchter und stark verschmutzter Flußarme liegen. Ähnliches

ließe sich über das Schadensausmaß bei Naturrisiken wie beispielsweise Erdbeben (Risikotyp Damokles) sagen – in fast allen Fällen bestimmen regionalspezifische Handlungskapazitäten und eine sozialgruppenspezifische Verwundbarkeit das Ausmaß des Schadens und damit das effektive Risiko.

2. *Eintrittswahrscheinlichkeit.* Auch sie ist in beträchtlichem Maß regional- und sozialgruppenspezifisch bestimmt. Dies gilt besonders für Technologierisiken. Unfälle in der Chemieindustrie, wie im indischen Bhopal, oder bei der Nutzung der Kernenergie, wie in Tschernobyl, sind in vergleichsweise wohlhabenden Industrieländern zwar nicht unmöglich, haben hier aber aufgrund der größeren Handlungskapazitäten, beispielsweise einer effektiveren Kontrollbehörde, doch eine geringere Eintrittswahrscheinlichkeit als in Indien oder der Ukraine. Die geringen Handlungskapazitäten und die hohe Verwundbarkeit der Menschen in Entwicklungsländern bewirken auch eine erhöhte Eintrittswahrscheinlichkeit bei Gesundheitsrisiken (Kap. E 3.1)

Die Betrachtung der Handlungskapazitäten und der Verwundbarkeit von Staaten und von einzelnen gesellschaftlichen Gruppen ist ein unverzichtbarer Teil jeder Risikoanalyse. Die Risiken des Globalen Wandels implizieren ein Nord-Süd-Gefälle der Risikoverteilung, das der Risikoverantwortung spiegelbildlich gegenübersteht. Damit sind die wissenschaftliche Analyse und Bewertung der globalen Risiken vor erhebliche Herausforderungen gestellt. Das Ziel einer globalen Risikominimierungspolitik muß es sein, Schadensausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit unter Berücksichtigung ihrer regional- und sozialgruppenspezifischen Verstärker zu mindern. Armut steht hier im Mittelpunkt, weil ihr nach Ansicht des Beirats unter allen Vulnerabilitätsfaktoren eine herausragende Bedeutung zukommt.

2.2

Merkmale der Verwundbarkeit gegenüber Risiken des Globalen Wandels

2.2.1

Absolute Armut, wachsende globale soziale Disparitäten und Umweltkritikalität

Absolute Armut

Ein wesentlicher Faktor für die Verwundbarkeit von Gesellschaften und einzelnen Menschen ist die absolute Armut. Das BMZ (1997) bezeichnet Armut als eines der Risiken, das Grenzen überschreitet und sich zu einer globalen Gefahr entwickelt hat. Die absolute Armut ist aber noch nicht ausgerottet, trotz des Wirtschaftswachstums in vielen Entwicklungsländern (UNDP, 1997). Obwohl sich für viele Menschen durch die Veränderungen in den letzten Jahrzehnten durchaus neue Chancen eröffnet haben, gingen von diesen Veränderungen oft auch Gefahren und Risiken aus, die die Erfolge, die in der Vergangenheit bei der Armutsminderung erzielt worden sind, wieder zunichte machten. So zeigt sich beispielsweise, daß der Index für menschliche Entwicklung (Human Development Index, HDI; Kasten E 2.2-1), mit dem die UNO die Lebensqualität von Menschen zu messen versucht, seit seiner Einführung im Jahr 1990 ständig gestiegen ist, jedoch 1997 erstmals in 30 Ländern wieder sank (UNDP, 1997).

Auch die Einkommensarmut bleibt weit verbreitet. In den Entwicklungsländern ist der Anteil der Menschen, die über weniger als 1 US\$ pro Tag und Person verfügen und deshalb nach der Definition der Weltbank in „Einkommensarmut“ leben, zwischen 1987 und 1993 von 1,2 auf 1,3 Mrd. Menschen gestiegen. Bezogen auf diese Grenze ist die Armut in Afrika südlich der Sahara (266 von 590 Mio. Menschen) und in Südasien (515 Mio. von insgesamt 1,3 Mrd.) mit rund 45% bzw. 40% der Bevölkerung am stärksten verbreitet. Insgesamt konzentriert sich die Einkommensarmut auf ländliche Gebiete. Die Hungeraufstände in Indonesien während der Wirtschaftskrise in Asien zum Jahresbeginn 1998 zeigen, wie plötz-

lich arme Bevölkerungsgruppen existentiell bedroht sein können.

Auch in anderen Schlüsselbereichen der menschlichen Entwicklung bleibt die Lage trotz aller Fortschritte kritisch. Allein in den Entwicklungsländern leben mehr als 1 Mrd. Menschen in unzureichenden Wohnverhältnissen. Das Entwicklungsprogramm der Vereinten Nationen (UNDP) schätzt, daß mindestens 600 Mio. Menschen in Behausungen leben, die Gesundheit und Leben gefährden (Risikotyp Pythia). Weltweit sind etwa 100 Mio. Menschen obdachlos, mit steigender Tendenz. Auch in den Industrieländern nimmt die Obdachlosigkeit zu. In New York leben fast 250.000 Menschen auf der Straße, das sind mehr als 3% der Stadtbevölkerung (UNDP, 1997).

Obwohl sich die Gesundheitsversorgung in den letzten Jahrzehnten erheblich verbessert hat, sterben in den Entwicklungsländern immer noch jährlich rund 17 Mio. Menschen an heilbaren infektiösen und parasitären Krankheiten. 90% aller HIV-infizierten Menschen (von insgesamt ca. 23 Mio.) leben in den Entwicklungsländern. Von Armut Betroffene sind stärker anfällig gegenüber Umweltveränderungen: Zur Sicherung ihres Lebensunterhalts sind sie besonders auf die Nutzung natürlicher Ressourcen wie Wasser oder Böden angewiesen (WBGU, 1994, 1998a).

Fast alle empirischen Untersuchungen über die Risiken der Überlebenssicherung verwundbarer Gruppen in Entwicklungsländern haben gezeigt, daß die Rolle von Frauen in diesem Zusammenhang besonders prekär ist. Frauen tragen nicht nur einen zunehmenden Anteil der Produktions- und Reproduktionsarbeit („Feminisierung der Arbeit“), sondern sind in aller Regel auch für die Nutzung der Allmendegüter zuständig, die sich als wichtige Nische bei der Krisenbewältigung erwiesen haben. Der Beirat begrüßt und bestätigt hier die entwicklungspolitische Konzeption des BMZ hinsichtlich der Förderung von Frauen (BMZ, 1997). Auch weiterhin muß die Rolle der Frauen für die Überlebenssicherung verwundbarer Gruppen in der Entwicklungszusammenarbeit stärker beachtet werden, ohne ihnen dabei gleichzeitig neue Arbeitsbelastungen aufzubürden. Gleiches

Kasten E 2.2-1

Der Index für menschliche Entwicklung

Der Index für menschliche Entwicklung (HDI) setzt sich aus 3 Variablen zusammen (zur Kritik: Nuscheler, 1997):

- der Lebenserwartung, gemessen an der durchschnittlichen Lebenserwartung bei der Geburt,

- dem Bildungsstand, ermittelt anhand der gewichteten Kombination aus der Alphabetisierungsrate von Erwachsenen (%) sowie der Gesamteinschulungsquote auf der Primar-, Sekundar- und tertiären Bildungstufe (%), und
- dem Lebensstandard, gemessen am realen BIP pro Kopf und ausgedrückt in US-\$ auf Kaufkraftparitätsbasis (purchasing power parity, PPP).

gilt für den Zugang von Armutgruppen zu natürlichen Ressourcen, die traditionell Allgemeingut sind.

Soziale Disparitäten im globalen Maßstab
Wachsende soziale Disparitäten im globalen Maßstab bewirken in vielen Fällen Ungleichverteilungen von Risiken des Globalen Wandels, insbesondere hinsichtlich des Schadensausmaßes. Das zwischen Industrie- und Entwicklungsländern regelmäßig differierende Schadensausmaß etwa bei Dürren, Überschwemmungen oder beim Auftreten von Seuchen ist ein Beispiel hierfür.

Hinsichtlich der Entwicklung der globalen sozialen Disparitäten zeigen neueste Berichte der Vereinten Nationen, daß die Fortschritte in der Armutsbekämpfung seit Beginn des 20. Jahrhunderts insgesamt zwar beachtlich, aber sehr ungleich verteilt waren. Die einkommensbedingten weltweiten Disparitäten sind zudem weiter angewachsen: Der Anteil des ärmsten Fünftels der Weltbevölkerung am Globaleinkommen ist auf 1,1% gesunken, während er 1991 noch 1,4% und 1960 noch 2,3% betrug (Tab. E 2.2-1). Dieser Trend scheint sich fortzusetzen. Die Schere zwischen dem Einkommensanteil der reichsten 20% und der ärmsten 20% aller Menschen öffnet sich ständig weiter: 1960 betrug das Verhältnis 30:1, 1991 lag es bei 61:1, und 1994 erreichte es den Höchstwert von 78:1 (Tab. E 2.2-1).

Während das Durchschnittseinkommen der G-7-Staaten im Jahr 1965 das Einkommen der 7 ärmsten Länder „nur“ 20mal übertraf, erreichte es 1995 schon den 39fachen Wert. Zwar wuchs die Wirtschaft in einer Reihe von Entwicklungsländern schneller als in den Industrieländern, dies verringerte aber nicht die absoluten Einkommensunterschiede. Gemessen am Durchschnittseinkommen der Industrieländer fiel in Lateinamerika das durchschnittliche Einkommen pro Kopf von über $\frac{1}{2}$ in den 70er Jahren auf $\frac{1}{4}$ heute. In Afrika erreicht das durchschnittliche Einkommen pro Kopf inzwischen nur noch 7% von dem der Industrieländer. Nur den Wachstumsökonomien in Südostasien gelang es, zumindest bis zur Asienkrise 1997, das Einkommensgefälle gegenüber den Industrieländern zu verringern oder wenigstens nicht zu vergrößern (UNCTAD, 1997).

Das Durchschnittseinkommen von Staaten oder von Bevölkerungsgruppen ist keineswegs der einzige Indikator für deren Verwundbarkeit gegenüber den Risiken des Globalen Wandels. Aussagekräftiger ist nach Ansicht des Beirats der Grad der „menschlichen Entwicklung“, der vom Entwicklungsprogramm der Vereinten Nationen (UNDP) als „Wahlmöglichkeiten“ der Menschen für 3 grundlegende Dimensionen bezeichnet wird, um

- ein langes Leben zu führen,
- Wissen zu erwerben und
- Zugang zu Ressourcen für einen angemessenen Lebensstandard zu haben.

Die Berücksichtigung solcher Kategorien ermöglicht ein differenzierteres Bild als der einfache Vergleich des Pro-Kopf-Einkommens (Tab. E 2.2-2). So hat sich das Nord-Süd-Gefälle durchaus in manchen Bereichen relativ verringert, etwa bei der medizinischen Versorgung, bei der Ernährung und auch beim Trinkwasser (Kap. E 3.2). Gleichzeitig sind jedoch die Unterschiede zwischen Nord und Süd bei der Kommunikation, der Forschung und der Bildung größer geworden. Es liegt auf der Hand, daß hierdurch die Fähigkeit der Entwicklungsländer zum Umgang und zur Bewältigung von Risiken des Globalen Wandels deutlich geschwächt werden. Schon heute sind die Entwicklungsländer durch wachsende Umweltbelastungen wie Entwaldung, lange Dürren, Bodendegradation, Bodenerosion und schwindende Oberflächen- und Grundwasservorräte in besonderem Maß gefährdet (UNDP, 1997).

Teil einer globalen Risikovorpolitik sollte nach Meinung des Beirats daher die Förderung der Überlebenssicherung für verwundbare Gruppen und die Förderung ihrer Selbsthilfepotentiale sein. Zentrale Problemfelder sind dabei die informellen und traditionellen Sicherungssysteme (moral economy), die unter den unterschiedlichsten ökonomischen, sozialen und politischen Kräften mehr und mehr an Einfluß verlieren. Gleichzeitig wird deutlich, daß nur in unzureichendem Maß formelle Sicherungssysteme geschaffen werden, die die Überlebenssicherung verwundbarer Gruppen unterstützen könnten.

Vielmehr zeigt sich, daß unter dem Einfluß des Globalen Wandels derartige Sicherungssysteme ab-

Jahr	Prozent des globalen Einkommens			
	Ärmste 20%	Reichste 20%	Reichste: Ärmste	Gini Koeffizient
1960	2,3	70,2	30 : 1	0,69
1970	2,3	73,9	32 : 1	0,71
1980	1,7	76,3	45 : 1	0,79
1989	1,4	82,7	59 : 1	0,87
1994	1,1	86,0	78 : 1	–

Tabelle E 2.2-1
Globale Einkommensunterschiede, 1960–1994.
Quelle: UNDP, 1992, 1997

Tabelle E 2.2-2
 Nord-Süd-Disparitäten der Lebenschancen, 1960–1990.
 Quelle: UNDP, 1992

	Norden		Süden		Absolute Unterschiede	
	1960	1990	1960	1990	1960	1990
ABNEHMENDE DISPARITÄTEN						
Lebenserwartung [Jahre]	69,0	74,5	46,2	62,8	22,8	11,7
Alphabetisierung der Erwachsenen [%]	95	97	46	64	49	33
Ernährung [tägliche Kalorienversorgung in % des Bedarfs]	124	134	90	109	34	25
Säuglingssterblichkeit [pro 1.000 Lebendgeburten]	37	13	150	74	123	61
Kindersterblichkeit [pro 1.000 Lebendgeburten]	46	18	233	112	187	94
Zugang zu sauberem Wasser [% der Bevölkerung]	100	100	40	68	60	32
STEIGENDE DISPARITÄTEN						
Durchschnittliche Zeit des Schulbesuchs [Jahre]	9,1	10,0	3,5	3,7	5,6	6,3
Universitätsausbildung, Einschreibungen [%]	18	37	3	8	15	29
Wissenschaftler und Techniker [pro 1.000 Menschen]	51	81	6	9	45	72
Ausgaben für Forschung und Entwicklung [Mrd. US-\$]	196	434	13	18	183	416
Telefone [pro 1.000 Menschen]	130	466	9	26	121	440
Radios [pro 1.000 Menschen]	449	1.008	32	173	417	835

gebaut werden. Die Empfehlung des WBGU richtet sich darauf, behutsam, aber beharrlich formale Sicherungssysteme für verwundbare Gruppen aufzubauen, gleichzeitig aber sicherzustellen, daß dadurch die noch existierenden traditionellen oder informellen Sicherungssysteme nicht gefährdet werden. Solche neuen Sicherungssysteme könnten aus einer Mischung von öffentlichen und privat-selbsthilfeorientierten Elementen bestehen.

Soziale Disparitäten innerhalb der Staaten
 Insgesamt sind die sozioökonomischen Disparitäten in den Entwicklungsländern wesentlich höher als in Industrieländern. Beispielsweise befinden sich zahlreiche Entwicklungsländer – v. a. in Afrika – weiterhin in einer ökonomischen und politischen Krise; hier ist die Verwundbarkeit gegenüber zahlreichen Risiken des Globalen Wandels besonders groß. Sozioökonomische Disparitäten allein bewirken indes keine höhere Anfälligkeit gegenüber Umweltrisiken, entscheidend ist v. a. der Anteil der absolut Armen. Wenn also steigende Disparitäten mit einer Zunahme der absoluten Armut verbunden sind, dann

nimmt die Zahl der risikoanfälligen Menschen zu. Einkommensdisparitäten zeigen hingegen nur, inwieweit Risikobewältigungspotentiale und Risikoexposition (beispielsweise durch ein unterschiedliches Niveau der Gesundheitsversorgung, der Wohnlage, der Ernährung oder der Vorsorge durch Versicherungen) innerhalb einer Gesellschaft verteilt sind. Die steigenden sozioökonomischen Unterschiede zwischen den Staaten werden von einer wachsenden innerstaatlichen Polarisierung von Einkommensverteilung und Lebenschancen begleitet. Der UNCTAD-Bericht von 1997 zeigt, daß in fast allen Ländern der Einkommensanteil des jeweils reichsten Fünftels der Bevölkerung seit den frühen 80er Jahren steigt, wobei es in vielen Fällen zu einer Umkehr des Nachkriegstrends kam. In den meisten Entwicklungsländern verfügt das obere Fünftel über mehr als die Hälfte des nationalen Einkommens. Das ärmste und allgemein gegenüber Risiken verwundbarste Fünftel der Bevölkerung bleibt benachteiligt: In vielen Ländern verdienen die ärmsten 20% der Bevölkerung im Durchschnitt 10mal weniger als die reichsten 20%.

Eine andere Messung der Einkommensverteilung berücksichtigt die Anteile einzelner Bevölkerungsgruppen am Gesamteinkommen auf der Grundlage der reichsten 20%, der mittleren 40% und der ärmsten 40%. In den meisten Industrieländern gibt es eine Einkommensverteilung nach dem 40:40:20-Muster, d. h. die reichsten 20% der Bevölkerung verfügen über rund 40% des Gesamteinkommens, die mittleren 40% über einen gleichhohen Einkommensanteil und die ärmsten 40% über 20% des Gesamteinkommens. Gesellschaften mit einer solchen Struktur gelten im internationalen Vergleich als Länder mit einer eher geringen Ungleichheit (UNCTAD, 1997).

In nur wenigen Entwicklungsländern ist das Einkommen jedoch nach dem 40:40:20-Muster verteilt. Beispiele sind Taiwan, Südkorea und Nepal (UNCTAD, 1997). Die übrigen Entwicklungsländer sind stattdessen von einer extremen Ungleichverteilung des Einkommens geprägt. Einige hiervon zählen noch zu einer „mittleren“ Kategorie, bei der die reichsten 20% über die Hälfte des Gesamteinkommens verfügen. In anderen Entwicklungsländern ist das Einkommen eher nach einem 60:30:10-Muster verteilt.

Risikoverstärker Umweltkritikalität
Regionen sind nicht nur aufgrund ihrer jeweiligen sozioökonomischen Disposition unterschiedlich risikofähig, sondern auch aufgrund ihrer ökologischen Ausstattung, d. h. sie zeichnen sich durch eine spezifische „Umweltkritikalität“ aus. Umweltkritikalität bezeichnet eine Situation, in der die Lebensqualität (Einkommen, BSP, Gesundheit, Ernährung, Süßwasserversorgung usw.) durch Umweltveränderungen gefährdet ist. Umweltkritikalität ist abhängig von der Geschwindigkeit und der Intensität der Umweltveränderungen, der Vulnerabilität der betroffenen Menschen und den Bewältigungspotentialen. Einen Überblick geben Kasperson et al. (1995).

Regionen, mit hoher Umweltkritikalität entwickeln sich in der Regel nicht von heute auf morgen. Daher kann die Umweltkritikalität einer Region auch in Stadien beschrieben werden. Eine entscheidende Rolle hierbei spielen die Regenerationsfähigkeit des Ökosystems und die Abfederungs- bzw. Anpassungskosten der betroffenen Gesellschaften. Nachhaltige Regionen zeichnen sich durch eine hohe ökologische Regenerationsfähigkeit und niedrige Abfederungs- bzw. Anpassungskosten aus. Im Übergang zu einem geschwächten (*impoverished*), gefährdeten (*endangered*) und schließlich kritischen (*critical*) Zustand dreht sich dieses Verhältnis allmählich um (Kasperson et al., 1995; Turner et al., 1995). Eine Region in *geschwächtem* Zustand ist dadurch gekennzeichnet, daß mittel- bzw. langfristig die Lebens-

qualität der Menschen durch Umweltveränderungen bedroht ist. Als *gefährdet* wird ein Stadium der Umweltdegradation bezeichnet, in dem eine solche Situation kurzfristig erwartet wird (spätestens in der nächsten Generation). Am Ende steht der *kritische* Zustand, in dem durch Umweltdegradation bereits Verluste in der Lebensqualität hingenommen werden müssen. Die Risiken des Globalen Wandels können sich in solchen Regionen aufgrund der zu erwartenden kumulativen Effekte besonders gravierend auswirken. Als Beispiele für Regionen mit hoher Umweltkritikalität werden bei Kasperson et al. (1995) u. a. das Aralseebecken, Amazonien, die Middle Mountains in Nepal, die Ukambani Region in Kenia, das Mexikobecken, das Ordos-Plateau in China und die östliche Sundalandregion Südostasiens (Kalimantan, Sumatra, Java) behandelt.

Der IPCC-Sonderbericht (IPCC, 1998) stellt die zu erwartenden regionalspezifischen Auswirkungen des Klimawandels auf Ökosysteme und Gesellschaften für alle Weltregionen dar (vgl. Kap. D 8, Risikotyp *Pythia*). Dabei wird Afrika aufgrund seiner klimatischen und sozioökonomischen Disposition (z. B. Abhängigkeit vom Regenfeldbau und Bedeutung der Landwirtschaft) als der für den Klimawandel verwundbarste Erdteil bezeichnet. Hierbei spielen hinsichtlich der Umweltkritikalität die möglichen Verstärkungseffekte zwischen Dürreerisiken und Klimawandel eine entscheidende Rolle (IPCC, 1995). Besonders gravierend wirkt der Risikoverstärker Umweltkritikalität dort, wo sich Umweltveränderungen überlappen, wie beispielsweise Biodiversitätsverlust, Bodendegradation und Süßwasserverknappung.

Trotz der bereits geleisteten Arbeiten auf diesem Gebiet, wie etwa der Entwicklung eines Süßwasserkritikalitätsindex (WBGU, 1998a), steht eine globale Übersicht zur Umweltkritikalität noch aus. Hierzu müßten beispielsweise Weltkarten der Bodendegradation, der Süßwasserverschmutzung bzw. -verknappung, der Luftverschmutzung oder der UV-B-Strahlungsbelastung übereinander gelegt und unter Einbeziehung der potentiell betroffenen Menschen, ihrer spezifischen Verwundbarkeit und ihrer sozioökonomischen Bewältigungspotentiale die häufigsten und kritischsten Schnittbereiche identifiziert werden. Hier besteht nach Ansicht des Beirats Forschungsbedarf, insbesondere zur Verbesserung der Kenntnisse über die Resilienz bzw. Anpassungsfähigkeit von Ökosystemen und Gesellschaften.

2.2.2

Formen und Bestimmungsfaktoren von Verwundbarkeit

Welche Faktoren bewirken, daß bestimmte Menschen oder bestimmte Regionen besonders anfällig für die beschriebenen Entwicklungen sind? Wodurch erhöht sich die Verwundbarkeit bestimmter sozialer Gruppen oder Regionen und wie wird damit eine Verstärkung von Risiken des Globalen Wandels bewirkt?

2.2.2.1

Bestimmungsfaktoren für Verwundbarkeit im ländlichen Raum

In der Regel sind diejenigen Menschen am stärksten verwundbar gegenüber den Risiken des Globalen Wandels, die ohnehin zu den Ärmsten in der Gesellschaft zählen. In Entwicklungsländern gilt dies insbesondere für jene, die von landwirtschaftlichen Grenzböden leben und mit einer fortschreitenden Schädigung ihrer Umwelt und Ernteausfällen durch Dürre- und Überflutungsrisiken konfrontiert sind. Die Überschwemmungen in Somalia (Risikotyp Zyklon) im November 1997 sind ein Beispiel hierfür. Auf solchen landwirtschaftlichen Grenzböden leben selbst nach sehr konservativen Schätzungen die Hälfte der ärmsten Menschen auf der Erde – insgesamt mehr als 500 Mio., v. a. in der Sahelzone Afrikas, in den Bergregionen der Anden oder im Himalaya. Der Lebensunterhalt all dieser Menschen ist durch die fortschreitende Schädigung der natürlichen Ressourcen unmittelbar und akut bedroht (UNDP, 1997). Auch die Ökosysteme dieser Gebiete sind höchst anfällig. Ihre Böden sind durch Erosion gefährdet, und die Regenfälle weisen große saisonale und jährliche Schwankungen auf. Oft sind diese Gebiete auch abgelegen und nicht über Straßen an Märkte oder Infrastruktur angeschlossen.

Weltweit können nach Chambers (1997) 3 Arten von Landwirtschaft unterschieden werden, die auch gegenüber den Risiken des Globalen Wandels verschieden verwundbar sind. Neben der sog. „ersten Landwirtschaft“ (hochtechnisiert in den Industrieländern) und der „zweiten Landwirtschaft“ (in Gebieten der Grünen Revolution in den Entwicklungsländern) wird noch eine „dritte Landwirtschaft“ unterschieden. Diese wird als komplex und divers beschrieben, ist aber aufgrund ihrer geringen Technisierung für die ländlichen Armutgruppen sehr wichtig, weil sie finanzierbar und beherrschbar bleibt. Gleichwohl gilt sie als besonders anfällig gegenüber globalen Risiken. Schätzungen zufolge le-

ben 1,9–2,2 Mrd. Menschen von den Erzeugnissen dieser „dritten Landwirtschaft“ (Pretty, 1995). Dennoch ist ihre Bedeutung bisher unterschätzt worden, und man weiß wenig über ihre Funktionsweise. Die „dritte Landwirtschaft“ ist von besonderer Bedeutung für eine globale Risikominimierungsstrategie, denn sie versorgt derzeit die Mehrheit der Ärmsten und verwundbarsten Gruppen der Welt mit Nahrungsmitteln, und als einzige Form des Ackerbaus hat sie noch das Potential für eine Verdopplung und Verdreifachung der Produktivität unter wenig oder gar keinem Einsatz externer Betriebsmittel.

Wie kann man die Gebiete, in denen die Landwirtschaft besonders verwundbar gegenüber globalen Risiken, aber auch besonders wichtig für das Überleben von armen Menschen ist, identifizieren? Im wesentlichen lassen sich hierzu 5 Bestimmungsfaktoren anführen:

1. *Niedrige und stagnierende Produktion.* In den meisten der angesprochenen Agrarregionen der Erde werden die in der Landwirtschaft erzielten Zuwächse durch das Bevölkerungswachstum aufgezehrt oder sogar übertroffen. Das gilt insbesondere für Afrika südlich der Sahara, wo die Nahrungsmittelimporte zwischen 1974 und 1990 um 185%, die Nahrungsmittelhilfe sogar um 295% stiegen (UNDP, 1997). Neben dem Bevölkerungswachstum und der Umweltdegradation tragen auch die politische Instabilität vieler Länder, die weit verbreitete Korruption und ethnische Konflikte zur Nahrungsunsicherheit bei. Hinzu kommen historische Fehlentwicklungen, wie etwa die Folgen jahrzehntelanger Planwirtschaft in Mozambique. Insofern führt niedrige agrarische Produktivität in Verbindung mit Bevölkerungswachstum und politischer Instabilität zu einer nach unten gerichteten Spirale von Armut und Risikoanfälligkeit.
2. *Wachsende Beanspruchung von Ressourcen,* die Allgemeingut sind. Gerade die ärmsten Familien in agrarischen Marginalbereichen wie Trockenregionen oder Gebirgszonen hängen stark von der Nutzung der Naturschätze ab, die Allgemeingut sind. Viele sichern ihren Lebensunterhalt durch den Zugang zu kommunalen Wäldern und Weiden, sie beziehen hier nicht nur Brennmaterial und weiden ihr Vieh, sondern sammeln auch Wildfrüchte und Heilkräuter. In Indien haben Untersuchungen ergeben, daß die ärmsten Familien bis zu 25% ihres Lebensunterhalts durch diese Ressourcen decken (Beck, 1995). Durch das Bevölkerungswachstum, aber auch durch das bereits erwähnte Problem der niedrigen stagnierenden landwirtschaftlichen Produktion werden diese Naturreserven ständig stärker beansprucht. Dadurch steigt die Unsicherheit gerade der verwundbarsten Gruppen weiter. Hinzu kommt oft eine

staatliche Politik (z. B. Forstgesetze, Naturschutz), die verwundbaren Gruppen den bisherigen Zugang zu solchen Ressourcen verwehrt und so weiter zu ihrer Verwundbarkeit auch gegenüber globalen Risiken beiträgt.

3. *Variabilität des Naturgeschehens und Naturkatastrophen.* Große und z. T. wachsende Schwankungen der Regenfallmengen innerhalb des Jahres oder von Jahr zu Jahr stellen große Risiken für Armutgruppen dar. Sie bedeuten eine zunehmende Belastung der natürlichen Ressourcen etwa in Form von Dürren, die zu wachsender Erosion und schwindenden Oberflächen- und Grundwasservorräten führen. Mit großer Wahrscheinlichkeit wird die Erwärmung der Atmosphäre (Klimarisiko) zu wachsenden Schwankungen und Unwägbarkeiten beim Wetter führen, so daß z. B. insbesondere in Afrika die Gefahr von Hungerkrisen steigt.
4. *Schwächung traditioneller Sicherungssysteme.* Eine besonders gravierende Form der Risikoanfälligkeit für verwundbare Gruppen ist die Auflösung traditioneller Sicherungssysteme, die auch unter dem Stichwort *moral economy* (Thompson zitiert in Beck, 1995) angesprochen werden. Wenn sich Netzwerke gegenseitiger Hilfe vermindern, ergeben sich neue Formen von Risiken für verwundbare Gruppen (Frauen, Kinder und Alte), etwa bei Mißernten oder Krankheiten. Fatal ist dieser Prozeß deswegen, weil er in der Regel (noch) nicht durch neue, moderne Formen sozialer Sicherungssysteme abgelöst worden ist. Gerade in Krisenzeiten werden überlieferte Rechte oft nicht mehr aufrecht erhalten. Konflikte treten auf, die in der Regel zugunsten der weniger verwundbaren Gruppen entschieden werden, und oft bringen Wirtschaftskrisen Haushalte dazu, das Prinzip der gegenseitigen Hilfe einfach nicht mehr aufrechtzuerhalten.
5. *Erhöhter Druck des Markts auf Ressourcen.* Wirtschaftliche Entwicklung ist immer mit dem Vordringen von Märkten verbunden. Dies führt in vielen Entwicklungsländern dazu, daß Naturschätze, die zuvor Allgemeingut waren, mehr und mehr über Marktkräfte privatisiert und genutzt werden. Ein besonders wichtiger Bereich ist hier das Grundwasser; eine Ressource, die zuvor der Nutzung aller Dorfbewohner durch traditionelle Brunnen offenstand. Diese Ressource wird in vielen semiariden Regionen der Welt zunehmend durch Tiefbrunnen erschlossen, die meist nur mit Hilfe von Motorpumpen genutzt werden können, die nur die wohlhabenden Bauern besitzen. Es entstehen Grundwassermärkte, die das Ernährungs- und Produktivitätsrisiko der verwundbaren Gruppen zumindest vorübergehend und als Nebener-

scheinung einer langfristig wahrscheinlich positiven Entwicklung gravierend erhöhen können.

Die bisherige Darstellung hat gezeigt, daß es v. a. Kleinbauern und Landlose in agrarischen Marginalregionen der Welt sind, deren Überlebenssicherung einem besonderen existentiellen Risiko ausgesetzt ist. Geographisch sind dies die Trockenräume der Erde, die großen Dürreerisiken (Risikotyp Zyklus) unterliegen, die semiariden Bereiche, in denen insbesondere die Saisonalität der landwirtschaftlichen Aktivitäten zu schaffen macht, und schließlich die Hochgebirgsräume der Erde, in denen die großen Höhenunterschiede, die Kleinkammrigkeit des Geländes und die Gefahr von Erosion, Hangrutschung und Saisonalität zu existentiellen Risiken der Kleinbauern und Hirten führen. Ein Fazit ist es denn auch, daß sich die Politik stärker um das Problem der Armut in den ökologischen Grenzzonen der Erde kümmern müsse (UNDP, 1997). Deutlich wird dargestellt, daß die Erträge bei den traditionellen Anbaufrüchten dieser Regionen in den vergangenen 20 Jahren nur unerheblich zugenommen haben, während die „Grüne Revolution“-Regionen durchaus spektakuläre Produktionszuwächse erreichen konnten. Vor diesem Hintergrund wird eine „zweite Grüne Revolution“ gefordert, die Forschung zugunsten nachhaltiger Entwicklung auf landwirtschaftlichen Grenzböden zur Voraussetzung hat. Diese Forderung ist eine wichtige Empfehlung des Beirats im Hinblick auf Agrarforschung und ländliche Entwicklungspraxis zur Stärkung der Überlebenssicherung marginaler Gruppen. Die sog. „zweite Grüne Revolution“ für arme Bauern auf Grenzböden sollte allerdings keineswegs eine Kopie der „ersten Grünen Revolution“ sein.

2.2.2.2

Bestimmungsfaktoren für Verwundbarkeit in Städten

Zwar ist der Anteil der Bevölkerung unterhalb der Armutsgrenze in den Städten im allgemeinen niedriger als auf dem Land, er erreicht aber dennoch beachtliche Werte. In Afrika liegt dieser Anteil durchschnittlich bei 29%, in Lateinamerika bei 32% und in Asien (ohne China) bei 34% (UNCHS, 1996). Weltweit sind in den Städten rund 330 Mio. Menschen von Armut betroffen. Bei dieser Gruppe sind Schadensausmaß und in manchen Fällen auch Eintrittswahrscheinlichkeit gegenüber den Risiken des Globalen Wandels im Verhältnis zur übrigen Bevölkerung überdurchschnittlich hoch. Diese Menschen sind den stadttypischen Problemen wie Luftverschmutzung, Lärm oder mangelnder Hygiene zumeist schutzlos ausgesetzt (Risikotyp Zyklus). Es sind insbesondere

folgende Faktoren, die zur Risikoanfälligkeit in urbanen Verdichtungsräumen beitragen:

1. *Hohe Bevölkerungsdichte und Bevölkerungswachstum.* Ballungszentren und Regionen mit hohen Bevölkerungsdichten und hohem Bevölkerungswachstum sind stets risikoanfälliger als dünn besiedelte Landstriche. Ein und dasselbe Ereignis, z. B. eine Katastrophe wie in Tschernobyl oder der Ausbruch einer Seuche, weist je nach Bevölkerungsdichte ein ganz anderes Schadensausmaß auf. Mit der fortschreitenden Verstädterung und der Bildung von „Megastädten“ steigt daher das Risikopotential lokal an.
2. *Verstädterungsraten in Küstenzonen.* Die Verstädterungsrate ist in den Küstenzonen besonders hoch; rund die Hälfte der Menschheit lebt schon jetzt in einer Küstenzone. 17 der 25 Städte mit mehr als 10 Mio. Einwohnern liegen an der Küste. 2010 werden rund 320 Mio. Menschen in solchen Küstenstädten leben (Timmermann und White, 1997). Durch den zu erwartenden Meeresspiegelanstieg, die Zunahme von Wetterextremen infolge des Klimawandels, der wachsenden Versalzung von Grundwasser durch Meerwassereintritt und sich verändernder Grundwasserspiegel (ein Steigen gefährdet Bausubstanz, ein Fallen die Trinkwasserversorgung) werden sich die verstärkten Küstenregionen zu den risikoreicheren Regionen der Erde entwickeln. Dies gilt in besonderem Maß für die Entwicklungsländer und die kleinen Inselstaaten.
3. *Fehlende bzw. unzureichende soziale Sicherungssysteme.* Die Wanderung vom Land in die Stadt ist oft mit dem Verlust traditioneller sozialer Sicherungssysteme verbunden, die in der Regel nicht durch andere private oder öffentliche Sicherungssysteme „ersetzt“ werden. Hierdurch nimmt die Fähigkeit ab, das Schadensausmaß und die Eintrittswahrscheinlichkeit bei globalen Risiken, wie etwa Natur- oder Stoffrisiken, zu mindern.
4. *Favelabildung.* Ungelöste Entwicklungsprobleme, insbesondere im ländlichen Raum der Entwicklungsländer, spiegeln sich vielfach in der Bildung von Favelas und Slumgebieten ohne ausreichende öffentliche Infrastruktur wider. Diese innerstädtische Trennung birgt auch unterschiedlich große Risikopotentiale. Die lokale Häufung von Infektionskrankheiten und hoher Kindersterblichkeit ist eine typische Erscheinung dieser Entwicklung.
5. *Unzureichende Stadtplanung und Infrastrukturmängel.* In den Entwicklungsländern sind Stadtplanung, Stadtverwaltung und die städtische Infrastruktur meist nicht zur Basisversorgung der Stadtbewohner in der Lage. Die Versorgung mit Elektrizität, Trinkwasser oder Kanalisation konzentriert sich in der Regel auf wenige Stadtteile.

Ein bedeutender Teil der Stadtbewohner, der im informellen Sektor sein Auskommen findet, ist auf Selbsthilfe angewiesen. Aufgrund dieser infrastrukturellen und organisatorischen Defizite sind Stadtbewohner in den Entwicklungsländern risikoanfälliger als in den Industrieländern.

2.3

Individuelle Lösungswege zur Verminderung sozialer Verwundbarkeit

2.3.1

Die individuellen „Aktivposten“ zur Bewältigung von Risiken des Globalen Wandels

Vor dem Hintergrund wachsender existentieller Risiken des Globalen Wandels und der besonderen Rolle sozialer Verstärker müssen Individuen, Haushalte und Gemeinschaften Strategien entwickeln, um gegenüber diesen Risiken weniger verwundbar zu werden. Entscheidend ist hier die Frage nach den Fähigkeiten der Menschen, sich zur Wehr zu setzen und Chancen zu erkennen und zu nutzen, wie sie ihre Widerstandsfähigkeit stärken können. In der sozialwissenschaftlichen Risikoforschung ist in diesem Zusammenhang das Konzept der Aktivposten entwickelt worden (Swift, 1989; Chambers, 1997; UNDP, 1997). Diese Aktiva sind für ein Individuum, einen Haushalt oder eine Gruppe erforderlich und hilfreich, um existentielle Risiken zu meistern, d. h. Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß so weit wie möglich zu senken und auf diese Weise ihr Überleben auf Dauer sicherzustellen. Es werden verschiedene Typen von Aktivposten identifiziert, die zusammen als entscheidende Faktoren für Risikovorsorge angesehen werden (UNDP, 1997):

1. *Wirtschaftliche Aktiva.* Zu den wirtschaftlichen Aktiva zählen materielle Güter wie Ackerland, Vieh, Wohnraum, Geldvermögen und anderes. In den Entwicklungsländern kommt dem Land dabei eine Schlüsselrolle zu, denn Landbesitz ist in vieler Weise Voraussetzung für andere wirtschaftliche Aktivposten. Etwa $\frac{1}{4}$ der Armen in den ländlichen Gebieten sind jedoch gänzlich ohne Landbesitz oder verfügen nicht über ausreichend sichere Eigentumsrechte.
2. *Soziale und politische Aktiva.* Hierzu zählen die Fähigkeiten von Menschen, Beziehungen zu anderen Menschen zu nutzen, um Risiken abzufedern, z. B. bei wirtschaftlichen Krisen oder Krankheiten. In schwierigen Zeiten wird meist zuerst die Hilfe von Verwandten oder anderen Mitgliedern der Gemeinschaft in Anspruch genommen. Aber auch der Zugang zu den Hilfsmöglichkeiten von Insti-

tutionen und Behörden ist Teil des sog. sozialen Kapitals. Zu den politischen Aktivposten zählt schließlich auch das, was in der englischsprachigen Literatur Empowerment genannt wird. Dazu gehören die politischen Durchsetzungsmöglichkeiten von Armutgruppen hinsichtlich ihrer Bedürfnisse und Probleme und die Möglichkeit zu politischer Partizipation.

3. *Ökologische Aktiva.* Zur Sicherung ihrer Gesundheit und ihres Lebensunterhalts sind Menschen von den natürlichen Ressourcen abhängig. Dazu zählen auch die Ressourcen, die Allgemeingut sind und die insbesondere in Krisenzeiten als Reserve dienen.
4. *Infrastrukturelle Aktiva.* Der Zugang zu sauberem Trinkwasser, zu Schulen, Krankenhäusern und anderen sozialen Diensten ist ein wesentlicher Faktor der Überlebenssicherung.
5. *Persönliche Aktiva.* Einer der wichtigsten Aktivposten ist gute Gesundheit und damit die Fähigkeit zu Arbeit und Einkommensbeschaffung. Zu den persönlichen Aktiva zählen auch Fertigkeiten und Begabungen. Nicht zu vernachlässigen ist auch die Zeit als ein wichtiger Aktivposten verwundbarer Gruppen. Wenn z. B. ein großer Teil der Arbeitszeit für das Sammeln von Feuerholz, für das Herbeischaffen oder für das Vermarkten von Agrarprodukten aufgebracht werden muß, so bleibt wenig Zeit für produktive Tätigkeit oder für reproduktive Arbeit, wie etwa die Versorgung von Kindern, Kranken und alten Menschen.

2.3.2

Verwundbarkeit und Risikovorsorge

„Verwundbarkeit“ kann beschrieben werden als das „Ausgesetzt-Sein“ eines Individuums oder eines Haushalts gegenüber plötzlichen Ereignissen oder Streß und den Schwierigkeiten, damit umzugehen. Verwundbarkeit weist 2 Seiten auf: eine *äußere* Seite von Risiken, plötzlichen Ereignissen und Streß und eine *innere* Seite, die durch mangelnde Abwehrfähigkeit gekennzeichnet ist, insbesondere durch ein Defizit an Potentialen zur Vermeidung von Schäden oder Verlusten (Chambers, 1989). Damit werden 3 grundlegende Dimensionen von Verwundbarkeit aufgegriffen: das Risiko, einer Streßsituation ausgesetzt zu sein (Eintrittswahrscheinlichkeit); das Risiko, einem Streßereignis keine geeigneten Bewältigungsstrategien entgegensetzen zu können (Risikomodulatoren); und das Risiko, daß Streß gravierende Folgewirkungen für die betroffenen Bevölkerungsgruppen und Regionen mit sich bringt (Schadensausmaß). Ein genaueres Verständnis sozialer Verwundbarkeit erfordert insbesondere eine sorgfältige Aufschlüsse-

lung der Struktur von Armut (Swift, 1989). Dies bedeutet neben ökonomischen Kriterien die jeweilige Stellung einer Person, eines Haushalts oder einer Gruppe im gesamtgesellschaftlichen Kontext zu erfassen, d. h. die soziale, kulturelle und politische Dimension zu berücksichtigen.

Das Konzept der Verwundbarkeit hat in jüngster Zeit gerade in der sozialwissenschaftlichen Risikoforschung (Kasperson et al., 1995) und speziell in der Hungerforschung rasch an Bedeutung gewonnen (Downing, 1991; Watts und Bohle, 1993a). Verschiedene Einzelstudien (Pryer, 1990; Downing, 1993; Bohle et al., 1994; Kasperson et al., 1995) haben gezeigt, daß Verwundbarkeit als komplexes ökologisches, soziokulturelles und politisch-ökonomisches Konzept sehr viel eindeutiger als etwa Armuts- oder Einkommenskriterien das jeweilige Lebensrisiko von Individuen, Haushalten und gesellschaftlichen Gruppen und ihre Anfälligkeit gegenüber Risiken erfassen und erklären kann (Kasten E 1.2-3).

Auch wurden erste Ansätze für eine theoretische Begründung des Verwundbarkeitskonzepts entwickelt, die sich mit Fragen der Risikoträchtigkeit, Bewältigungsstrategien und Folgeschäden beschäftigen. Dabei wurden die Verursachungsmechanismen von Verwundbarkeit aus der Perspektive von 3 Ansätzen zu entschlüsseln versucht (Bohle et al., 1994), der Humanökologie, der Verfügungsrechte und der Politischen Ökonomie (Abb. E 2.3-1).

Unter dem Blickwinkel der *Humanökologie* stehen die Wechselwirkungen zwischen Mensch und Umwelt im Vordergrund. Einerseits geht es hierbei um den Umgang einer Gesellschaft mit ihrer physischen Umwelt und dem Erleben spezifischer Umwelttrisiken (z. B. Dürrerisiken). Andererseits hat die Natur erhebliche Auswirkungen auf Struktur und Reproduktion einer Gesellschaft. Humanökologie ist in dieser Hinsicht ein Ansatz, der sowohl Umwelttrisiken für verwundbare Gruppen als auch die „Qualität“ der ihnen zur Verfügung stehenden Ressourcen thematisiert (Bohle, 1994).

Aus der Sichtweise der *Verfügungsrechte* wird beispielsweise eine Hungerkrise nicht durch ein fehlendes Nahrungsangebot erklärt, sondern v. a. durch mangelnde Nachfragemöglichkeiten. Zu solchen Verfügungsrechten zählen nicht nur die rein wirtschaftlichen Möglichkeiten wie z. B. das Vorhandensein von Tauschmitteln, mit denen Grundbedarfsgüter erworben werden können, sondern auch sozialpolitische (z. B. Durchsetzbarkeit von Grundrechten) und kulturelle Verfügungsrechte (z. B. dörfliche Netzwerke gegenseitiger Hilfe oder Kastenzugehörigkeit).

Aus dem Blickwinkel der *Politischen Ökonomie* wird danach gefragt, wie Verfügungsrechte von der politisch-ökonomischen Makrostruktur einer Gesell-

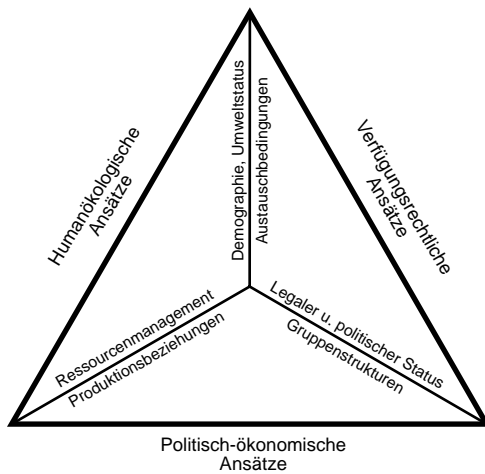


Abbildung E 2.3-1
Analytisches Modell von Verwundbarkeit.
Quelle: verändert nach Watts und Bohle, 1993b

schaft bestimmt werden. Hierbei stehen die Partizipationsmöglichkeiten verwundbarer Gruppen ebenso im Vordergrund wie nationalstaatliche Konflikte und Krisen oder schlechte Regierungsführung.

In dem theoretischen Modell über gesellschaftliche Verwundbarkeit verdeutlichen die Überschneidungsbereiche zwischen den Erklärungsansätzen das Zusammenwirken einzelner Bestimmungsfaktoren sozialer Verwundbarkeit, z. B. wenn Bevölkerungswachstum und Umweltdegradation auf der einen und verfassungsrechtliches Inventar auf der anderen Seite in einer besonderen Risikosituation (z. B. Dürre) aufeinandertreffen (Abb. E 2.3-1).

Bei näherer Hinsicht wird allerdings deutlich, daß dieses Konzept im Grund nur die ersten Dimensionen von Verwundbarkeit abdeckt, nämlich die „äußere“ Seite von Verwundbarkeit, die Risikoträchtigkeit. Zu wenig berücksichtigt wurde dagegen die „innere“ Seite von Verwundbarkeit, die die Bewältigungsmöglichkeiten der Betroffenen thematisiert. Hier bietet sich das zuvor beschriebene Konzept der Aktivposten an. Die doppelte Struktur von Verwundbarkeit wird deshalb hier in spiegelbildlich aufeinander bezogenen Dreiecken dargestellt, bei der die externe Seite von Verwundbarkeit durch Humanökologie, Verfügungsrechte und Politische Ökonomie bestimmt und die interne Seite durch die verschiedenen Dimensionen möglicher Aktiva zur Bewältigung von Risiken aufgeschlüsselt wird (Abb. E 2.3-2). Erst die Zusammenschau beider Perspektiven von Verwundbarkeit ergibt ein umfassendes Bild von Risikoanfälligkeit bzw. -bewältigungspotentialen.

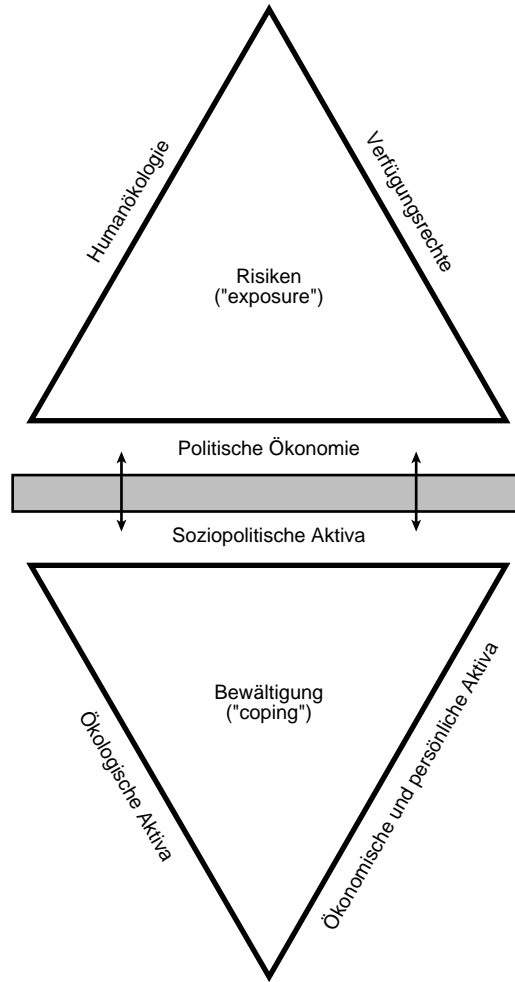


Abbildung E 2.3-2
Die Doppelstruktur von Verwundbarkeit.
Quelle: Bohle et al., 1998

2.3.3 Stärkung der Risikobewältigungskapazitäten verwundbarer Gruppen

Mit der Frage „Wessen Lebenswelt zählt?“ hat Chambers (1997) eine provokative Grundsatzdiskussion über die Lebensrealitäten verwundbarer Gruppen in ökologisch anfälligen Räumen angeregt. Er plädiert für eine Sicht „von unten“, in der die Erfahrungen marginaler Gruppen im Umgang mit Risiken im Vordergrund stehen. Die Beachtung des jeweiligen ökologischen und kulturellen lokalen Kontexts, die Komplexität der Risikominderungsstrategien, die kaum übersehbare Vielfalt der Aktionen und Reaktionen, die immer neue dynamische Anpassungsfähigkeit und Unvorhersehbarkeit der Überlebenssicherung verwundbarer Gruppen stehen dabei im

Vordergrund. Auch in dieser Analyse sind es 3 Säulen, auf denen die Überlebenssicherung und Risikominderung der Gruppen ruht: materielle Vermögenswerte, immaterielle Vermögenswerte und spezifische Risikominderungsstrategien. Insofern ähnelt sein Ansatz dem beschriebenen Konzept der Aktiva. Komplexität und Diversität sind dabei die hervorsteckenden Kennzeichen von überlebensökonomischen Aktivitäten und von Risikoversorge. Für eine derartige Komplexität und Diversität gibt es v. a. 3 Gründe (Chambers, 1997). Der 1. Grund ist die Sicherung des Lebensunterhalts, in dem der Zufluß von Nahrungsmitteln, Einkommen und anderen Ressourcen in Zahl, Größe und Verteilung so beeinflusst werden soll, daß der Lebensunterhalt insgesamt gesichert ist, daß keine jahreszeitlichen Defizite auftreten und daß Nahrung und Einkommen möglichst vielfältig sind. Ein 2. Grund ist das Streben nach Sicherheit, in dem Strategien verwendet werden, die die Stabilität des Lebensunterhalts und seine nachhaltige Sicherung ermöglichen. Hierzu gehört auch der Versuch, den Lebensunterhalt gegen Schocks von außen und Fehlschläge wie z. B. Dürrerisiken (Pilardeaux und Schulz-Baldes, 1998) oder Ernteausfälle abzupuffern. Ein 3. Grund ist das Streben nach immateriellen Werten. Komplexität und Diversität überlebensökonomischer Aktivitäten können die Abhängigkeit von äußeren Zwängen mindern, sie können die Handlungskapazitäten des verwundbaren Haushalts stärken, können auch befreiend wirken und Selbstachtung verleihen und dienen insgesamt dazu, das Wohlbefinden zu erhöhen. Hierzu gehören z. B. auch die Vielfalt der Nahrung, abwechslungsreiche Aktivitäten wie Feste, Besuche und Spiele, die oft die gesellschaftliche Realität verwundbarer Gruppen in marginalen Räumen deutlich prägen.

Die beschriebenen Risikominderungsstrategien geben einen Rahmen für entwicklungspolitische Maßnahmen vor. Die Erhöhung von Komplexität und Diversität überlebensökonomischer und damit auch risikomindernder Aktivitäten scheinen generell die Handlungsspielräume verwundbarer Gruppen zu erweitern. Die Erfolgsaussichten steigen mit der Fähigkeit verwundbarer Gruppen, ihre eigenen Präferenzen zu verfolgen. Entsprechend ist auch eine Neuorientierung der Beziehungen zwischen Entwicklungsexperten und ihren Zielgruppen nötig. Chambers (1997) faßt diese Sichtweise zusammen: Dezentralisierung, Demokratisierung, Diversität und Dynamik. Zweifellos bedeutet dieses neue Paradigma eine mehrfache Umorientierung der bislang praktizierten Entwicklungspraxis. Diese Gedanken geben vielfache Anregung, wie sich Entwicklungsplaner, -politiker und Wissenschaftler mit der Frage der sozialgruppenspezifischen Risikominimierung auseinandersetzen sollten.

Grundlegend ist die Erstellung eines Indikatorensystems für regionale und sozialgruppenspezifische Risikoanfälligkeit auf unterschiedlichen Betrachtungsebenen. Der Versuch, die Bestimmungsfaktoren von Risikobewältigung im Rahmen der Überlebenssicherungsstrategien verwundbarer Gruppen systematisch zu erfassen, hat zu dem Konzept der Aktiva mit ihren unterschiedlichen Dimensionen geführt. Vor diesem Hintergrund lassen sich sozusagen spiegelverkehrt die wichtigsten Risikofaktoren identifizieren, die die Überlebenssicherung in Frage stellen. Da diese Risikofaktoren auf den angesprochenen Betrachtungsebenen unterschiedlich sein können, empfiehlt sich eine entsprechende Gliederung eines solchen Indikatorensystems in die individuelle, haushaltsbezogene und gruppenspezifische Dimension.

Daneben bedarf es aus der Sicht des Beirats neuer Anstrengungen zur Entwicklung von Risikokarten auf unterschiedlichen Maßstabsebenen. Die Entwicklung solcher Karten, die Risiken der Überlebenssicherung anhand von Indikatoren visualisieren, ist bislang nur rudimentär vorangeschritten. Sie beziehen sich bislang in der Regel allein auf das Risiko von Hungerkrisen. Erste Versuche von Risikokarten liegen auf der globalen Ebene und auf Länderebene vor. Eine erste Karte zur Verwundbarkeit gegenüber Hungerkrisen (Risikotyp Zyklus) auf globaler Ebene stammt von Downing (1992). Für 172 Länder der Erde stellte er 3 Indikatoren aus Weltbankstatistiken zusammen und verarbeitete sie zu einem Ernährungssicherungsindex (Downing, 1992; Bohle, 1994). In diesem Index wurden die Dimensionen Nahrungsmittelangebot, Kaufkraft und Gesundheitszustand zusammengeführt. Auf Länderebene haben bislang 3 Hilfsorganisationen Pionierarbeit im Bereich von Risikokartierungen geleistet: Das Welternährungsprogramm der Vereinten Nationen (WFP), die Nichtregierungsorganisation Save the Children und das von USAID finanzierte Projekt für Hungerkrisenfrühwarnsysteme in Afrika (FEWS). Alle 3 haben umfangreiche konzeptionelle Überlegungen zur Anfertigung von Risikokarten angestellt; allerdings stellt z. Z. nur das FEWS-Projekt laufend entsprechende Karten her. Der Beirat sieht die Weiterentwicklung solcher Karten als ein wichtiges Forschungsziel an.

Die Basis hierfür sind weitergehende Analysen über die theoretisch-konzeptionellen Hintergründe von Risikoanfälligkeit und Verwundbarkeit. In diesem Zusammenhang ist v. a. eine konsistentere Verknüpfung der externen und internen Risikofaktoren von Überlebenssicherung erforderlich (Abb. E 2.3-2). Dabei geht es aus der Sicht des Beirats nicht nur darum, die grundlegenden Bestimmungsfaktoren und Dimensionen von Risikoanfälligkeit und Bewältigungsmöglichkeiten, sondern auch im regionalen

und sozialgruppenspezifischen Kontext das jeweilige Gewicht der Risikobereiche für die Überlebenssicherung der verwundbaren Gruppen zu bestimmen.

Die Diskussion um die Lebensrealität verwundbarer Gruppen hat gezeigt, daß neue Methoden einer nicht nur teilnehmenden, sondern die Betroffenen selbst einbeziehenden ländlichen Feldforschung neue Ergebnisse über die tatsächlichen Probleme, Erfahrungen und Bedürfnisse verwundbarer Gruppen hervorbringen können. Im Einzelfall können durch solche Methoden die Zielgruppen identifiziert und die wichtigsten Risiken der Überlebenssicherung verwundbarer Gruppen erkannt werden. Für die Erstellung von Indikatorensystemen und Risikokarten liefern solche Erhebungsmethoden wichtige Beiträge. Zu diesen Methoden liegen inzwischen Handbücher, Bibliografien und umfangreiches Erhebungsmaterial vor. Das größte Problem scheint jedoch darin zu bestehen, daß diese Methoden einen erheblichen zeitlichen und emotionalen Einsatz des Forschers erfordern. Hier sollten aus der Sicht des Beirats einfachere und praktikablere Lösungen gefunden werden.

3 Beispiele für komplexe Risiken

3.1

Globaler Wandel und Gesundheit

Heute leben 5,5 Mrd. Menschen auf der Welt, im Jahr 1800 waren es erst 1 Mrd. Die durchschnittliche Kindersterblichkeit ist von 129 im Jahr 1955 auf heute 58 pro 1.000 Lebendgeburten gesunken (UNDP, 1997). 1850 lag die mittlere Lebenserwartung in Europa noch unter 50% der heutigen (Deutsche Stiftung Weltbevölkerung, 1998).

Für diese Entwicklung waren in erster Linie Fortschritte in der Nahrungsproduktion und Seuchenbekämpfung, Verbesserungen der Hygiene und die Entwicklung von Impfstoffen, Antibiotika und Chemotherapeutika verantwortlich. Trotz der eindrucksvollen Überlebensfolge zeichnen sich für den Menschen jedoch neuartige Vulnerabilitäten ab und alte treten erneut auf. Globale Veränderungen wie die Zunahme urbaner Ballungsräume, die Belastung und Zerstörung von Ökosystemen und Klimaveränderungen sind ihre direkten oder indirekten Ursachen. Die Möglichkeit einer Bedrohung der Gesundheit durch globale Umweltveränderungen wird zunehmend auch von den internationalen Institutionen betont; z. B. ist es verstärkte Zielsetzung von WHO und UNEP, das „Monitoring“ von Mortalität und Morbidität in Abhängigkeit von Klimaveränderungen zu verbessern (Haines und McMichael, 1998).

Klimaeffekte dürften, global gesehen, auch in Zukunft große Auswirkungen auf die Gesundheit haben und könnten in einzelnen Bereichen zu krisenhaften Entwicklungen führen. Klimabedingte Ernährungskrisen werden vor allen Dingen die Entwicklung von Kindern betreffen. UNICEF und WHO haben das Problem der kindlichen Fehlernährung in Entwicklungsländern aufgegriffen. Proteinmangelernährung betrifft 1/3 aller Kinder in diesen Ländern, z. B. leiden etwa 50% der indischen Schulkinder an Eisenmangel. Jodmangel mit Schilddrüsenfunktionsstörungen betrifft schätzungsweise über 1 Mrd. Menschen, und es wird über eine übermäßige Bleiaufnahme bei 10–17% der englischen und amerikanischen und bei bis zu 90% der Kinder in einigen afrikanischen Städ-

ten berichtet (Williams, 1998a). Alle der genannten Faktoren beeinflussen die kindliche Hirnentwicklung und Lernfähigkeit und die Intelligenz Erwachsener. Sie betreffen bevorzugt ärmere Bevölkerungsschichten (Kap. E 2).

1990 hat der US-Kongreß den Schwerpunkt der medizinischen Forschung auf Erkrankungen des zentralen Nervensystems gelegt und die 90er Jahre zur Dekade des Gehirns erklärt. Während dies in den Industrienationen die Erforschung neurophysiologischer Vorgänge und genetischer sowie neurodegenerativer Erkrankungen vorsieht, bedeutet es für Entwicklungsländer die Beschäftigung mit neurotoxikologischen Auswirkungen einer Mangelernährung auf die Hirnentwicklung.

Eine umfassende Analyse zu den direkten und indirekten gesundheitlichen Auswirkungen von Klimaveränderungen wurde 1996 in einer gemeinsamen Studie der WHO, WMO und UNEP veröffentlicht (WHO, 1996b). Die Zunahme des sog. Wärmestresses und die Ausbreitung parasitärer Krankheiten teils durch veränderte Biotope von Überträgern einer großen Zahl von Krankheitserregern, wurden betont. Die Probleme werden, wie später noch beispielhaft ausgeführt werden wird, durch alte und neue Resistenzentwicklungen bei Erregern und Überträgern verschärft. Die Ausdünnung der Ozonschicht gefolgt von einer Erhöhung des an der Erdoberfläche meßbaren UV-B-Anteils hat bereits konkrete Auswirkungen auf einzelne Erkrankungen. Andere Faktoren wie die Globalisierung soziokultureller Verhaltensweisen mit ihren prinzipiellen Unberechenbarkeiten dürften nicht weniger wichtig sein. Nicht vermeidbare Unsicherheiten für die Abschätzung der zukünftigen Weltgesundheit ergeben sich aus den Wechselbeziehungen lokaler und globaler Umweltveränderungen. Diese können zu einem kausalen Beziehungsgeflecht von gegenseitigen Verstärkungsfaktoren führen und damit eine erhebliche Komplexität annehmen. Als ein naheliegendes Beispiel kann eine auf ökonomischen Druck hin durchgeführte Entwaldung einer Region gelten. Dies kann z. B. zu einer Ausbreitung von Insektenarten führen, welche Krankheiten übertragen, mit dem Ergebnis

einer lokalen Zunahme von vektorvermittelten Infektionskrankheiten. Gleichzeitig könnte durch multiple Vorgänge dieser Art auf globaler Ebene durch den Verlust von CO₂-Senken eine Temperaturänderung mit zahllosen gesundheitlichen Konsequenzen verbunden sein, beispielsweise der Ausbreitung weiterer vektorvermittelter Infektionskrankheiten durch die Habitatverschiebung der Wirtsorganismen.

Ein anderes sehr konkretes Beispiel für komplexe Risiken durch Globalen Wandel ist die AIDS-Pandemie, für deren relativ rasche Verbreitung z. B. internationale Migration, Drogenmißbrauch und Promiskuität verantwortlich sind. Die starken Disparitäten zwischen Industrie- und Entwicklungsländern und latente Infektionen wie Tuberkulose sind weitere Verstärkungsfaktoren. Obwohl effiziente Maßnahmen zur Kontrolle dieser Pandemie bekannt sind, fehlen in vielen Entwicklungsländern die Ressourcen und Strukturen für ihre Durchsetzung. Dies zieht eine Kette von Folgen nach sich, die vorhandene Programme durch Überlastung der Kompensationsfähigkeit weiter einschränken und die Verwundbarkeit der bereits infizierten Menschen erhöhen.

3.1.1

Erregerresistenz

Seuchen und Ernährungskrisen gehören seit alters her zu den wichtigsten Bedrohungen der Menschheit und wirken oft synergistisch. Mit der Einführung von Antibiotika sind viele der epidemischen bakteriellen Infektionen soweit zurückgedrängt worden, daß sie teilweise völlig aus dem Bewußtsein geraten sind. Es wird dabei aber vergessen, daß die Wechselbeziehungen von Wirtsorganismen und Erregern labil sind und von vielen Faktoren beeinflusst werden können. Es gelingt in den seltensten Fällen, die Erreger aus ihrer Wirtspopulation völlig zu entfernen, wie etwa im Fall der Pocken. Bei einem Zusammentreffen ungünstiger Faktoren gewinnen die Erreger wieder die Oberhand. In den letzten 10 Jahren gibt eine zunehmende, weltweite Resistenzentwicklung wichtiger Erreger Anlaß zur Besorgnis. Fast monatlich werden in den führenden medizinischen Zeitschriften neue Erregerresistenzen mitgeteilt.

Durch Bakterien (z. B. *Vibrio cholerae*, *Escherichia coli*, Salmonellen) und Protozoen (z. B. Giardien) hervorgerufene Durchfallerkrankungen sind immer noch die häufigste Ursache der insgesamt 17 Mio. jährlichen tödlichen Infektionen. Diese Erkrankungen verursachen jährlich ca. 3 Mio. Todesfälle und stehen weltweit an zweiter Stelle der Ursachen der Kindersterblichkeit. Allein 120.000 Fälle sind der Infektion mit *Vibrio cholerae* zuzuschreiben, das in

den letzten Jahren in Süd- und Mittelamerika, Afrika, Asien und Südosteuropa Epidemien hervorgerufen hat. Für diese Erkrankung bilden nach wie vor hohe Besiedlungsdichte und Armut die entscheidenden Verstärkungsfaktoren (Favela-Syndrom: WBGU, 1998a). In letzter Zeit wird aber deutlich, daß neue komplexe Entwicklungen die einfache Beziehung zwischen Armut, Wasserverschmutzung und bedrohlichen Durchfallerkrankungen relativieren und neue Vulnerabilitäten primär in den industrialisierten Ländern erzeugen können. Exemplarisch hierfür ist die Entwicklung von Antibiotika-Resistenzen bei Salmonellen, ebenfalls Erreger, die z. B. über verunreinigtes Wasser oder Nahrungsmittel Durchfallerkrankungen hervorrufen. Typhusartige durch Salmonellen ausgelöste Epidemien könnten, wie in der Vor-Antibiotika-Ära, erneut zu einer weitverbreiteten Bedrohung werden. Der Stamm *Salmonella enterica* Serotyp typhimurium DT104 hat in den USA eine von 0,6% im Jahr 1980 auf 34% im Jahr 1996 dramatisch zunehmende Resistenzentwicklung erfahren. Da dieser Stamm in den USA in 36 von 46 Laboratorien in den eingesandten Proben identifiziert wurde, ist er zumindest dort bereits weit verbreitet. Er ist gegen 5 unterschiedliche Antibiotikaklassen resistent und stellt damit eine erhebliche Bedrohung dar (Levy, 1998). Inzwischen wurde er auch in einigen europäischen Ländern, darunter Dänemark, nachgewiesen. Diese Entwicklung wird in einem klaren kausalen Zusammenhang mit der Verwendung großer Mengen Antibiotika in der Intensivtierhaltung gesehen und wird damit zu einem erheblichen anthropogen verursachten Gesundheitsproblem primär in den hochindustrialisierten Nationen. Die Antwort auf diese Entwicklung war die Einrichtung eines nationalen Überwachungsprogramms für antimikrobielle Resistenz bei Salmonellen (MMWR, 1996). Die EU hat kürzlich ihr Vorhaben mitgeteilt, einzelne der insgesamt 8 als Futterzusatzstoffe zugelassenen Antibiotika zu verbieten.

Die Ausdehnung vektorvermittelter Erkrankungen durch Klimaveränderungen ist ebenfalls eine reale, primär von den Disparitäten zwischen Entwicklungs- und Industrieländern unabhängige Bedrohung. Von Vektoren (Stechmücken und -fliegen, Flöhe und Zecken) werden z. B. Rickettsien, Protozoen, Viren und Borrelien auf Säuger übertragen. Unter den hieraus resultierenden Erkrankungen sind an erster Stelle Malaria (z. B. *Plasmodium falciparum*), Gelbfieber, YF-Fieber, Denguefieber und die Schlafkrankheit (Chagas) zu nennen. Temperatur und Luftfeuchtigkeit spielen im Lebensraum der Vektoren eine erhebliche Bedeutung, und bei einer globalen Klimaerwärmung wird in Bereichen mit derzeit noch geringer Prävalenz von einer deutlichen Zunahme der Ausbreitung einzelner Vektorübertra-

gender Erreger ausgegangen (Haines und McMichael, 1998). Eine klimabedingte Ausbreitungstendenz der Zecken wird z. B. als eine mögliche Ursache für die zunehmende Häufigkeit der durch Zecken übertragenen Borreliose vermutet (Brown, 1993).

Bei vektorvermittelten Erkrankungen sind Resistenzentwicklungen in 2 Richtungen möglich. Diese können sowohl die Vektoren als auch die übertragenen Erreger betreffen. Die Bekämpfung dieses Infektionstyps gelingt deshalb weniger gut als von Infektionen, die für ihre Übertragung keinen Vektor benötigen. Die Malaria ist ein klassisches Beispiel, deren Historie die komplexen Wechselbeziehungen unterschiedlicher Faktoren widerspiegelt. Die weltweit verheerenden Auswirkungen wurden mit der Einführung wirksamer Pestizide wie DDT zurückgedrängt. Das WHO-Programm zur Ausrottung der Malaria wurde 1969 aber bei zunehmender Resistenzentwicklung wegen Erfolglosigkeit wieder aufgegeben. In einigen Teilen der Welt zeichnet sich sogar wieder eine Zunahme der Malaria ab, und sie forderte 1997 ca. 2,1 Mio. Tote. Anthropogene Eingriffe und Klimaveränderungen, die zur Ausweitung von Erregerbiotopen führen, sind kausal beteiligt. Die Hauptursachen dürften aber derzeit Resistenzen sowohl der übertragenden Mückenarten (*Anopheles spec.*) gegen Pestizide als auch Resistenzen der Erreger selbst (insbesondere *Plasmodium falciparum*) gegen Chemotherapeutika sein (Diesfeld, 1997).

Ein weiteres Beispiel für eine möglicherweise krisenhafte Entwicklung durch Resistenzen „alter“ Erreger liefert *Mycobacterium tuberculosis*, der Erreger der Tuberkulose. Mindestens 35% der Weltbevölkerung sind mit Tuberkulose infiziert, mehr als 8 Mio. neue Tuberkuloseerkrankungen und 3 Mio. Tote sind jährlich zu verzeichnen (WHO, 1996b). Initiiert durch die WHO wurden kürzlich epidemiologische Daten in 35 Ländern zum Vorkommen von Tuberkulostatikaresistenzen erhoben (Snider und Castro, 1998). Sie haben den bereits in den letzten Jahren vom Centers for Disease Control and Prevention ausgesprochenen Verdacht einer Zunahme von Resistenzen der Tuberkulosebakterien gegen Medikamente bestätigt. Weltweit zeigen durchschnittlich 10% der Stämme eine primäre Resistenz. Die Resistenzrate von Bakterienisolaten unbehandelter Patienten liegt bei durchschnittlich 36%, 13% weisen Mehrfachresistenzen auf (Resistenz gegen mehr als 2 Tuberkulostatika). Dieses ist eine alarmierende Entwicklung, da die Zahl der gegen Tuberkulose wirksamen Medikamente begrenzt ist. Folgende ursächliche und synergistische Faktoren sind vorrangig zu nennen:

- Der Synergismus mit dem humanen Immundefizienzvirus HIV verbreitet die Tuberkulose besonders in denjenigen Bereichen der Welt, die durch

eine hohe HIV-Durchseuchung gekennzeichnet sind. Viele der bisher mitgeteilten Tuberkuloseausbrüche mit resistenten Erregern vollzogen sich in Gruppen HIV-positiver Menschen. Die Tuberkulose ist das beste Beispiel für die Tatsache, daß die Verfassung des Wirtsorganismus die Epidemiologie einer Erkrankung massiv beeinflussen kann (z. B. geschwächtes Immunsystem oder genetische Disposition).

- In Ländern mit schlecht strukturierten und finanzschwachen Gesundheitssystemen werden Resistenzen durch den nicht angemessenen Einsatz billiger Monotherapien statt der gebotenen Mehrfachtherapie erzeugt. Beispiele sind die Länder der früheren Sowjetunion, in denen die Resistenz von Tuberkuloseerregern 38% beträgt.
- Bei der permanenten Auseinandersetzung von *Mycobacterium tuberculosis* mit dem Immunsystem des Wirtsorganismus entstehen ständig neue Stämme mit unterschiedlicher Virulenz und damit ständig neue Herausforderungen an das Gesundheitssystem und die Forschung. Beispielsweise konnte erst kürzlich ein besonders virulenter Stamm identifiziert und für eine kleinere Epidemie in den USA verantwortlich gemacht werden (Bloom and Small, 1998). Dieser Erreger reagierte glücklicherweise sensibel auf die üblichen Tuberkulostatika.

3.1.2

Verlust stratosphärischen Ozons

In Kap. D 5 wurde auf die Entwicklung des stratosphärischen Ozons und auf globale Auswirkungen seiner Abnahme eingegangen. Einzelne gesundheitliche Auswirkungen einer zunehmenden UV-B-Strahlung im Bereich der Erdoberfläche sind die Zunahme verschiedener Arten von Hautkrebs, Trübung der Augenlinse und für den Verlauf von Krebs- und Infektionskrankheiten ungünstige Veränderungen des Immunsystems. Hiervon ist weltweit die Entwicklung von Hautkrebs für die weiße Bevölkerung besonders bedeutsam.

Die Entwicklung des Plattenepithelkarzinoms (PC) und des Basalzellkarzinoms (BC) der Haut, den häufigsten Tumoren des Menschen überhaupt, wird von der lebenslangen additiven UV-Dosis und dem Pigmentschutz der Haut der betroffenen Individuen gesteuert. Folglich treten die höchsten Raten an Neuerkrankungen von ca. 200 pro 100.000 Einwohnern und Jahr bei der hellhäutigen Bevölkerung in Ländern mit starker Sonneneinstrahlung auf (u. a. Texas und Australien). Um das Risiko von UV-Exposition für die Auslösung von PC und BC abzuschätzen, ist es notwendig, die relativen Unterschiede in der kan-

zerogenen Wirksamkeit und die Dosis-Wirkungs-Beziehungen verschiedener UV-Wellenlängen zu kennen (Diffey, 1998). Für die beiden genannten Tumore existieren umfangreiche Daten, so daß folgende Aussagen gemacht werden können: Ein Verlust von 1% Ozon führt zu einer 1,2–1,4%igen Zunahme des kancerogenen Effekts durch UV-B und zu einer Zunahme der PC um 3,5%. Für den Fall eines anhaltenden 10%igen Verlusts von Ozon müßte mit einem etwa 20–35%igen Anstieg der genannten Hauttumoren gerechnet werden, allerdings mit einem insgesamt nur geringen zusätzlichen lebenslangen Risiko von unter 5% für den einzelnen Erwachsenen. Das Lebensrisiko der heute lebenden Kinder würde jedoch in einem derartigen Fall 10–16% größer sein. Wenn die Produktion bzw. Verwendung ozonzerstörender Substanzen gemäß dem Montreal-Protokoll weiter reduziert wird, liegt das lebenslange Risiko dieser Kinder, einen der genannten Hauttumoren zu entwickeln, wahrscheinlich bei unter 10% (Slaper et al., 1996). Es bleibt zu hoffen, daß die öffentliche Wahrnehmung der Risiken zu veränderten Verhaltensweisen auch im Umgang mit Sonneneexposition führen und den vorhergesagten Anstieg abschwächen wird.

Auch für das maligne Melanom der Haut gibt es nach jahrzehntelanger Forschungsarbeit überzeugende Hinweise, daß UV-Strahlung der wesentliche kausale Faktor seiner Entstehung ist. Dieser Tumor bildet bereits sehr häufig ab einer Dicke von 1,5 mm Metastasen und kann dann in der Regel nicht mehr geheilt werden. Aber nur für die Entstehung eines einzigen der bekannten Melanomtypen ist, wie beim PC und BC, die additive UV-Dosis entscheidend. Bei dem häufigsten Typ, dem oberflächlich spreitenden Melanom (SSM) besteht hingegen kein linearer Zusammenhang mit der UV-Exposition. Hier spielt vielmehr die Anzahl der Sonnenbrände in der Kindheit und Jugend eine weitaus größere Rolle. Die Latenz zwischen häufigen Sonnenbränden und dem Auftreten der Tumoren beträgt 20–30 Jahre. Die Empfindlichkeit der jugendlichen Haut erklärt das überwiegende Vorkommen des SSM im jüngeren und mittleren Lebensalter. Das Auftreten dieses gefährlichen Tumors ist insbesondere in den Industrienationen, verstärkt durch global veränderte Verhaltensweisen (Kleidung, Urlaubsgewohnheiten), in den letzten 30 Jahren weltweit stark angestiegen (von <5 auf ca. 40 Neuerkrankungen pro 100.000 Einwohner und Jahr in einigen Ländern wie z. B. Australien). Für das Jahr 2000 wird erwartet, daß in der amerikanischen Bevölkerung das Risiko, am Melanom zu erkranken, bei 1:75 liegen wird (WHO, 1996a). Die sprunghafte Zunahme dieses hochmalignen, jüngere Menschen betreffenden Tumors hat in einigen Ländern wie Australien und Schottland zu umfangreichen Aufklärungskampagnen, Schulungs-

programmen und der Vermarktung hochwirksamer Lichtschutzfaktoren und -kleidung geführt. Es ist allerdings bisher nur in Australien und Schottland gelungen, den Anstieg der Melanome zu bremsen und in Australien ist seit kurzem erstmals eine Abnahme der Todesraten zu verzeichnen (Giles et al., 1996). Aufklärungsprogramme zur Änderung von Verhaltensweisen sind derzeit die einzig effektiven Maßnahmen. Sie müssen schwerpunktmäßig durch die Erforschung von Therapiemöglichkeiten ergänzt werden.

3.1.3

Zunahme allergischer Erkrankungen durch globale Umweltveränderungen?

Eine Reihe epidemiologischer Studien läßt den Schluß zu, daß allergische Erkrankungen, wie das allergische Asthma, der Heuschnupfen und das sog. atopische Ekzem (eine schwere chronische Hautentzündung) zunehmen (Wüthrich, 1989). Entsprechend einer weltweit durchgeführten Fragebogen und video-assoziierten Erhebung stellt das Asthma mit einem Vorkommen von ca. 25% bei 13jährigen beispielsweise in England derzeit einen der größten Morbiditäts- und Mortalitätsfaktoren im Kindesalter dar (ISAAC, 1998). Eine andere, ebenfalls in England durchgeführte Erhebung, hat ergeben, daß das atopische Ekzem dort 1,4 Mio. Einwohner betrifft und jährlich Kosten von ca. 450 Mio. £ verursacht (Herd et al., 1996). Ähnliche Zahlen liegen aus manchen Bereichen der USA vor. Die atopischen Erkrankungen werden durch ein komplexes Wechselspiel individueller genetischer und verschiedener Umweltfaktoren verursacht. Beispielsweise haben Studien aus China und Afrika gezeigt, daß auch bei gleicher atopischer Sensibilisierungsrate regional eine sehr unterschiedliche Häufigkeit von allergischem Asthma vorhanden sein kann (Leung, 1997; Yemaneberhan et al., 1997). Allergene (Allergieauslösende Substanzen) der äußeren Umwelt (z. B. Pollen) und der häuslichen Umgebung (z. B. Milbenkot- und Milbenkörperantigene, Tierhaar-assoziierte Antigene) sind in Abhängigkeit von ihrer Menge Sensibilisatoren und Auslöser. Obwohl diese Erkrankungen in den letzten 10 Jahren großes wissenschaftliches Interesse hervorgerufen haben, sind viele Fragen noch ungeklärt.

Die bisher erhobenen Befunde weisen darauf hin, daß neben mengenmäßigen Unterschieden in der Allergenexposition eine Reihe weiterer Umweltfaktoren für die Ausprägung der atopischen Krankheiten wichtig sind. In den vergangenen Jahren wurden vielfach anthropogen verursachte Luftverunreinigungen angeschuldigt. Tatsächlich gibt es tierexperimentelle

Hinweise für eine Beeinflussung der Sensibilisierungsrate gegen Pollenallergene unter dem Einfluß einzelner Substanzen wie Formaldehyd und Schwefelsäure (Osebold et al., 1980; van Loveren et al., 1996; Riedel et al., 1996). Beim Menschen sind allerdings die Zusammenhänge noch unklar und auch der Beweis gesteigerter sensibilisierender Eigenschaften schadstoffveränderter Allergene steht aus. Bei epidemiologischen Studien fiel auf, daß das Vorkommen atopischer Erkrankungen in den englischsprachigen Ländern am höchsten ist, was in simplifizierender Weise wiederholt als Beweis für die kausale Rolle von Verkehrs- und Industrieemissionen angesehen wurde. 2 kürzlich publizierte große epidemiologische Studien haben nun übereinstimmend gezeigt, daß das Ausmaß der anthropogen verursachten Luftverschmutzung allein nicht generell als Verstärkungsfaktor gewertet werden darf. Diese Untersuchungen kommen zu dem Schluß, daß das Asthma in einzelnen Regionen der Welt mit einem sehr niedrigen Grad an Luftverschmutzung wie z. B. Neuseeland, die größte Häufigkeit aufweist (ECRHS, 1996; Isaac, 1998). China und Osteuropa mit ihrer teilweise sehr hohen Luftverschmutzung durch Partikel und Schwefeldioxid haben durchweg geringe Asthma-Vorkommen, während Westeuropa und die USA mit einer andersartig zusammengesetzten Luftverschmutzung und mit hohen bodennahen Ozonkonzentrationen eine mittlere Häufigkeit von Asthma aufweisen. Auch deutsche Studien, die die Verhältnisse in Ost- und Westdeutschland verglichen, unterstreichen die Bedeutung der Emissionsqualität vor der -quantität (von Mutius et al., 1992; Schäfer et al., 1995).

Soziale Faktoren wie das Impfverhalten und die Familiengröße scheinen nach neueren Erkenntnissen die Häufigkeit der atopischen Erkrankungen zusätzlich zur Allergenmenge und -qualität in der Umwelt zu beeinflussen (Shirakawa et al., 1997). Zumindest ist sehr deutlich geworden, daß das Zusammenspiel auslösender Umweltfaktoren als mitverantwortliche Verursacher der in den letzten 50 Jahren möglicherweise bis 10fach angestiegenen atopischen Erkrankungen komplex und regional sehr unterschiedlich ist. Die in die Umwelt emittierten Stoffe sind einzeln zu betrachten und ihre Bedeutung kann nur dann richtig eingeschätzt werden, wenn die anderen, bereits bekannten individuellen Dispositions- und Risikofaktoren gleichzeitig mit berücksichtigt werden. Verstärkte epidemiologische Forschung, die Umweltexposition und Genetik der untersuchten Individuen gleichzeitig einbezieht und eine weitergehende Erforschung der immunologischen Zusammenhänge sind notwendig.

3.2

Globaler Wandel und Ernährung

3.2.1

Einleitung

Die Sicherung der Welternährung zählt auch heute noch immer zu den wichtigsten Herausforderungen für Wissenschaft und Politik. Insgesamt leiden etwa 800 Mio. Menschen an Hunger und Unterernährung, etwa 200 Mio. Kinder an Proteinmangel. Diese Situation wäre wesentlich dramatischer, wenn nicht die Grüne Revolution eine Steigerung der Nahrungsmittelproduktion ungeahnten Ausmaßes gebracht hätte (WBGU, 1998a). In den letzten 25 Jahren konnte die Pro-Kopf-Verfügbarkeit von Nahrungsmitteln trotz der Zunahme der Weltbevölkerung um ca. 1,6 Mrd. Menschen von 2.440 kcal Tag⁻¹ auf 2.710 kcal Tag⁻¹ gesteigert werden. Diese positive Entwicklung wird jedoch dadurch geschwächt, daß die Nahrungsverfügbarkeit starke regionale Unterschiede aufweist. Während sie in den Entwicklungsländern 2.520 kcal Tag⁻¹ beträgt, wird in den Industrienationen ein Wert von 3.330 kcal Tag⁻¹ erreicht. Dies bedeutet beispielsweise, daß in Afrika südlich der Sahara die Pro-Kopf-Verfügbarkeit rund 20% unter dem Weltdurchschnitt liegt.

Die derzeit verfügbare Nahrungsenergie ist ausreichend, um die derzeitige Weltbevölkerung zu ernähren. Allerdings ist die Nahrungsenergie global und teilweise auch regional sehr unterschiedlich verteilt. Hauptursache bleibt die Armut. Aufgrund der Bevölkerungsentwicklung ändert sich die Lage bis 2020. Neueste Prognosen der FAO gehen davon aus, daß die Nahrungsmittelproduktion um 75% gesteigert werden muß, um die Menschheit im Jahr 2020 ausreichend zu ernähren. Diese Zahl verdeutlicht, welche Herausforderung die Sicherung der Welternährung darstellt. Zu beachten ist dabei, daß Ernährungssicherung nicht nur die Produktion und Distribution von Nahrung zur Befriedigung der Grundbedürfnisse umfaßt, sondern auch den institutionellen Rahmen, der es den Menschen erlaubt, Zugang zu Nahrung in ausreichender Menge und Qualität zu erhalten.

3.2.2

Strukturelle Veränderungen der Nahrungsproduktion

Die Produktion von Nahrung, insbesondere Nahrungsgetreide, hat sich im 20. Jahrhundert tiefgreifend verändert, wodurch es möglich wurde, die stei-

gende Zahl von Menschen zu ernähren. Gleichzeitig sind aber mit dieser positiven Entwicklung in der landwirtschaftlichen Produktion eine Reihe neuer Risiken entstanden (Grüne-Revolution-Syndrom: WBGU, 1998a), die zusammen mit außerlandwirtschaftlichen Einflüssen die globale Ernährungssicherung gefährden könnten. In den Industrieländern hat sich die einst subsistenzorientierte Landwirtschaft zu einem hochmodernen Produktionssystem entwickelt, aber auch in den Entwicklungsländern hat die Grüne Revolution die traditionelle Landwirtschaft grundlegend verändert. Beide Systeme beruhen wesentlich auf dem Einsatz nicht erneuerbarer Energien und Rohstoffe (mineralische Düngemittel).

Ein typisches Merkmal hochintensiver Landwirtschaft ist ihre relativ geringe biologische Vielfalt bei den angebauten Feldfrüchten, den Fruchtfolgen und der Verwendung des Saatguts. Insbesondere Monokulturen sind sehr anfällig für Massenverbreitung von Insekten oder für Pilzbefall. Dadurch entstehende Ernteverluste zählen zu den Risiken, die sich regional sehr schnell katastrophal auswirken können. Zukünftige Produktionsformen der Landwirtschaft müssen den Wert der biologischen Vielfalt wieder stärker beachten. Für die Landwirtschaft bedeutet dies schonende Bodenbearbeitung, vielfältige Fruchtfolgen, Vermeidung von Nährstoffüberflüssen, Erhaltung bzw. Wiederherstellung einer vielfältigen Landschaftsstruktur und flächenangepaßte Nutztierhaltung.

Der höhere Pflegebedarf hochertragreicher Pflanzen, wie beispielsweise die genau geregelte und zeitlich abgestimmte Zufuhr von Wasser, Dünger oder Pflanzenschutzmitteln und die Abhängigkeit externer Betriebsmitteln wie Dünger, Saatgut, Kredite oder Beratung erhöhen die Anfälligkeit des Nahrungsproduktionsystems durch menschliches Versagen, Marktversagen (etwa Ausfall der Düngelieferung oder neuen Saatguts) oder Umweltdegradation. Gleichzeitig sind solche Agrarsysteme aber hochproduktiv. Untersuchungen haben gezeigt, daß neben den bereits genannten systemimmanenten Faktoren auch die Krisenanfälligkeit von Distributionsnetzwerken für landwirtschaftsbezogene Betriebsmittel die Risiken der Nahrungsproduktion erhöhen können (Pilardeaux, 1995). Beispielsweise können Nahrungsproduktionskrisen bereits durch den Ausfall von formalen Kreditvergabesystemen oder zugesicherten Subventionsleistungen etwa für Dünger ausgelöst werden. Ein weiteres Risiko kann aus der unüberlegten Übernahme von Nutzungsstrategien erwachsen, die unter anderen ökologischen und sozialen Randbedingungen erfolgreich waren.

Unangepaßte Agrarsysteme sind nicht nur instabil, sondern wirken sich auch negativ auf ihre natürliche Umwelt aus. In seinem Jahresgutachten 1997

hat der Beirat ausführlich dargestellt, wie unsachgemäße Bewässerung zu Bodenvernässung und Bodenversalzung führen kann. Bodendegradation kann z. B. auch durch die Schaffung sehr großer Parzellen aufgrund der Mechanisierung entstehen, wenn kein Platz mehr für Büsche und Bäume vorhanden ist, die zuvor die Winderosion begrenzten. Eine abnehmende biologische Vielfalt wirkt auf die Zukunftschancen der Nahrungsproduktion zurück, da sich die für die Pflanzenzucht so wichtige genetische Ressourcenbasis verkleinert. Auf der Internationalen Konferenz über die pflanzengenetischen Ressourcen (1996) spielten dieser Aspekt und die daraus erwachsenen Risiken für die Welternährung eine wichtige Rolle.

Hochintensive und -produktive Agrarsysteme haben in der Regel auch einen höheren Wasserbedarf als traditionelle Formen der Feldbewirtschaftung und erhöhen damit den Nutzungsdruck auf die lokalen Ressourcen, etwa durch den Einsatz von Tiefbrunnen und die Nutzung fossiler Grundwasserreserven. Sie sind in der Regel auch abhängiger von regelmäßiger Wasserzufuhr, d. h. sie sind weniger düreresistent. Ähnlich verhält es sich mit dem Düngemittelbedarf. Manche Hohertragsorten sind sehr empfindlich gegen Parasiten und Schädlinge, manche auch frost- oder salzempfindlich. Es hängt stark von den lokalen Bedingungen ab, ob sich die eine oder andere Eigenschaft eines Agrarsystems als Risikofaktor herausstellt oder nicht. Diese generelle Schwäche von Agrarökosystemen muß durch entsprechende Pflege- und Gegenmaßnahmen kompensiert werden. Die Weiterentwicklung standortgerechter, angepaßter Nutzungsstrategien ist eine vordringliche Aufgabe. Sie kann nur erfolgreich gelöst werden, wenn die dazu benötigten ökologischen, ökonomischen und sozialen Informationen erstellt und verbreitet werden.

Die Sicherung der Versorgung einer wachsenden Bevölkerung steht vor einem grundsätzlichen Dilemma. Sollen die unter Mangelernährung und Hunger leidenden Menschen mit herkömmlichen Methoden ernährt werden, müßte man die Produktion in den kommenden 30 Jahren fast verdoppeln. Dies wäre bei gleichbleibender Produktivität aber nur zu Lasten der noch bestehenden Wälder und Grasländer möglich, deren Flächen weiter zurückgehen würden. Eine höhere Nahrungsproduktion, die zur Deckung des Bedarfs der wachsenden Weltbevölkerung notwendig ist, erhöht den Nutzungsdruck auf die natürlichen Ressourcen. Hinzu kommt, daß die Leistungsfähigkeit der landwirtschaftlichen Systeme vielfach durch die zunehmende Umweltdegradation gefährdet wird.

3.2.3

Einflüsse globaler Umweltveränderungen auf die Nahrungsproduktion

Bodendegradation

Die wachsende Bodendegradation (WBGU, 1994) zählt zu den schleichenden Risiken, die die Sicherung der Welternährung gefährden. Jahr für Jahr verkleinert sich durch den teilweise irreversiblen Verlust wertvoller Ackerböden und durch ihre Degradation die Grundlage der Nahrungsproduktion. Als besonders risikofähig gelten Trockengebiete. Rund 250 Mio. Menschen sind direkt von Desertifikation betroffen, rund 1 Mrd. gelten als gefährdet. In den ariden, semiariden und subhumiden Gebieten der Erde sind rund 20% der Landflächen von Desertifikation betroffen. Daher wurde zur Bekämpfung der Desertifikation eine globale Konvention verabschiedet (Pillardeaux, 1997).

Nur wenn es wie oben dargelegt gelingt, die Erträge zu verdoppeln oder zu vervierfachen, würde die bisherige Ackerfläche für die Nahrungsmittelproduktion ausreichen. Zur Erreichung dieses Ziels wäre es erforderlich, die zunehmende Bodendegradation zu stoppen und die bestehenden Schäden soweit wie möglich wieder zu beheben. Schon heute treten gravierende Schäden bei den Ackerflächen auf, die anzeigen, daß die bisherigen Strategien der Bodennutzung, auch die traditionellen, keineswegs nachhaltig sind und daß die teilweise spektakulären Ertragssteigerungen durch Bewässerung, den Einsatz von Düngern, Pflanzenschutzmitteln und Landmaschinen sowie durch Verwendung ertragreicher neuer Pflanzensorten mit einer nicht zu tolerierenden Degradation von Böden erkauft wurden. 20 Mio. km² der Landoberfläche weisen sichtbare Schäden auf, die durch Menschen verursacht sind. Davon liegen 39% in Asien, 25% in Afrika, 12% in Südamerika, 8% in Nordamerika, 11% in Europa und 5% in Ozeanien. Mit 56% dominiert die Wassererosion, gefolgt von der Winderosion (28%), der chemischen Degradation (12%) und der physikalischen Degradation (4%) (Oldeman, 1992).

Die Vielfalt der Böden und ihre häufig nur langsamen Veränderungen sind Ursache dafür, daß ihre stetig fortschreitende, zivilisationsbedingte Gefährdung bisher im öffentlichen Bewußtsein nur wenig wahrgenommen und schon gar nicht als weltweite Krise eingestuft wird. Eine andere Ursache mangelnder Wahrnehmung liegt darin, daß ein wachsender Anteil der Weltbevölkerung in Städten lebt, wodurch es zu einer zunehmenden Entfremdung von den natürlichen Lebensgrundlagen kommt. Damit verbunden ist eine schwindende Einsicht, die zur Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen notwendigen

Schritte zu tun und die damit verbundenen Kosten zu tragen. Die Reduzierung der Bodendegradation und die Bewußtmachung der aus der Bodendegradation erwachsenden Risiken sind wichtige Aufgaben zur Überwindung der Ernährungskrise. Die Erweiterung der Desertifikationskonvention zu einer globalen Bodenkonvention könnte, wie bereits vom Beirat 1994 vorgeschlagen, ein wichtiger Schritt zur Lösung der Probleme sein.

Globale Klimaänderungen

Der neue Sonderbericht des IPCC über die regionalen Auswirkungen des prognostizierten Klimawandels zeigt deutlich, daß die Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Nahrungsproduktion bislang nur sehr unsicher zu bestimmen sind. Afrika wird als die für den Klimawandel risikofähigste Weltregion bezeichnet (IPCC, 1998).

Es ist nicht bekannt, ob die globale Nahrungsproduktion von den prognostizierten Klimaänderungen profitieren wird oder nicht. Die Frage ist, ob beispielsweise ein Rückgang der Erträge in Lateinamerika mengenmäßig durch die mögliche Nutzung sibirischer Permafrostböden ausgeglichen werden kann, und wenn ja, ob die hieraus entstehenden gesellschaftlichen und ökologischen Probleme überhaupt zu bewältigen sind.

Veränderte Niederschläge werden die landwirtschaftliche Produktion v. a. in den Regenfeldbaugebieten treffen, während die Absenkung von Grundwasser oder die Intrusion von Meerwasser in das Grundwasser v. a. in den großen Bewässerungsregionen wirksam wird. Bei einer Verlagerung von Niederschlagsregimen ist mit einer Verschiebung von agroökologischen Zonen zu rechnen. Bei langsamen Prozessen ist eine Anpassung der Gesellschaften zumindest vorstellbar, aber welche Effekte bei plötzlichen Änderungen eintreten können, ist noch weitgehend unerforscht.

Wetterextreme waren schon immer unkalkulierbare Risiken für die Landwirtschaft und haben immer wieder Hungerkrisen ausgelöst. Es ist offensichtlich, daß eine Zunahme der Wetterextreme ein hohes Risiko für die globale Ernährungssicherheit darstellt, dies zeigte das El-Niño-Ereignis von 1997/1998. Wie hoch dieses Risiko sein wird, hängt zum einen von den globalen Vorräten an Nahrungsgetreide ab und zum anderen von einer reibungslosen Verteilung im Fall einer Katastrophe. Mit ihren Monitoringsystemen leistet die FAO eine wertvolle und zunehmend wichtige Risikovorsorge. Ohne einen ausreichend großen Puffer in Form von Getreidevorräten kann aber nicht schnell reagiert werden.

Verknappung und Verschmutzung von Süßwasser

Der Nutzungsdruck auf die Wasserressourcen steigt weltweit (WBGU, 1998a). Es ist offenkundig, daß die Verfügbarkeit von Wasser direkte Auswirkungen auf die Agrarproduktion haben wird. Bereits heute werden 70% des vom Menschen genutzten Wassers in der Landwirtschaft zur Produktion von Nahrungsmitteln eingesetzt. 40% der Nahrungsmittel weltweit werden in Bewässerungskulturen erzeugt. Es werden in Zukunft mit weniger Wasser mehr Nahrungsmittel produziert werden müssen, d. h. die Effizienz des Wassereinsatzes muß wesentlich verbessert werden. Auf die nötige Verringerung der Verluste im Bewässerungsfeldbau hat der WBGU bereits hingewiesen (WBGU, 1998a). In manchen Regionen wird es demnach zu akutem Wassermangel kommen, der mittelfristig nicht mehr allein durch die saisonale Rationierung der Wasserbereitstellung wettzumachen ist. Da Nahrung für den Menschen nicht substituierbar ist, werden sich Engpässe oder notwendige Importe direkt auf die Preise auswirken mit der Folge einer möglichen kaufkraftbedingten Nahrungskrise. Daher ist es unabdingbar, daß in Regionen mit geringer Tragfähigkeit der Böden für die Bevölkerung außerlandwirtschaftliche Beschäftigungsalternativen geschaffen werden.

Die größten Risiken für die Nahrungsversorgung bestehen in den ariden und semiariden Regionen, wo Dürreereignisse in der Vergangenheit zeigten, wie eng bereits der regionale Nahrungsspielraum ist und wo die Konkurrenz um die begrenzten Süßwassermengen zu Lasten der Landwirtschaft gehen wird. Für Afrika wurden bereits Frühwarnsysteme eingerichtet (Famine Early Warning Systems), um im Notfall rechtzeitig mit dem Welternährungsprogramm und anderen Organisationen Hilfe leisten zu können. Ein globales Risiko würde dann entstehen, wenn sich solche Ereignisse kumulierten und an vielen Stellen der Erde gleichzeitig aufträten.

3.2.4

Einflüsse von global relevanten gesellschaftlichen Entwicklungen auf die Nahrungsproduktion

Bevölkerungswachstum

Die Weltbevölkerung nimmt, trotz etwas verringerter Raten, weiter zu. Die immer noch hohen Zuwachsraten in Afrika (etwa 3%) sowie in Asien und Lateinamerika (fast 2%) lassen erwarten, daß sie von gegenwärtig 5,7 auf über 6 Mrd. im Jahr 2000 und 7 Mrd. im Jahr 2010 anwächst. Es wird erwartet, daß im Jahr 2010 über 80% der Weltbevölkerung in Asien, Afrika und Lateinamerika leben werden. Treffen die Voraussagen der FAO für Bevölkerungsentwicklung

und Nahrungsproduktion zu, könnte sich die Zahl der chronisch Unterernährten in fast allen Entwicklungsländern leicht verringern: von 809 Mio. (1990–1992) auf 730 Mio. im Jahr 2010. Der Anteil der Unterernährten an der Bevölkerung würde sich nach FAO-Angaben um 20% auf etwa 13% verringern, mit der Ausnahme von Afrika südlich der Sahara, wo eine absolute Zunahme um 302 Mio. Menschen prognostiziert wird. Im Jahr 2010 würde damit in Afrika $\frac{1}{3}$ der Bevölkerung unterernährt sein, wenn keine Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Afrika bleibt der Schwerpunkt im Kampf gegen den Hunger, wie schon 1996 auf dem Welternährungsgipfel betont wurde. Die FAO-Prognosen berücksichtigen jedoch nicht hinreichend die Dynamik des Globalen Wandels; es ist beispielsweise nicht sicher abzuschätzen, welche Rolle Klimaänderungen und Bodendegradationen spielen werden.

Urbanisierung

Durch die weiter zunehmende Verstädterung wird die Sicherung der Welternährung immer mehr auch zu einem logistischen Problem und einer Frage der Nahrungsverteilung. Im Jahr 2000 wird die Hälfte der Bevölkerung in Städten leben. Das sind etwa so viele Menschen, wie 1960 auf dem gesamten Globus lebten. Dies bedeutet, daß die Ernährungssicherheit für immer mehr Menschen von ihrer Kaufkraft abhängt. Nahrungskrisen treten also nicht nur produktions-, sondern auch angebotsbedingt auf. Schon heute reagieren die Weltgetreidemärkte extrem empfindlich. Allein die Ankündigung eines El Niño reicht aus, um erhebliche Preissteigerungen auszulösen.

Hinzu kommt, daß die Weltagrarproduktion sich zunehmend auf wenige Kernregionen konzentriert. Von diesen Überschußgebieten wird Nahrung über die ganze Welt verteilt. Damit hängt Nahrungssicherheit zunehmend auch von der Dynamik der globalen Märkte ab. Aber auch innerhalb der Staaten konzentriert sich ein wesentlicher Teil der Nahrungsproduktion zunehmend auf wenige Regionen („Kornkammern“), eine Entwicklung, die beispielsweise auch durch die Grüne Revolution verstärkt wurde, da v. a. traditionelle Bewässerungsregionen überdurchschnittlich profitierten. Der risikosteigernde Aspekt besteht in einer solchen systemischen Veränderung, daß die Agrarproduktion immer stärker auf einzelne Regionen konzentriert wird.

Entwicklungsdisparitäten

Die Risiken der Ernährungssicherheit sind sowohl räumlich als auch sozialgruppenspezifisch ungleich verteilt (Kap. E 3.1). Dem Hungerrisiko sind v. a. die Entwicklungsländer ausgesetzt. Dort lassen sich im wesentlichen 4 für Nahrungskrisen besonders anfällige Bevölkerungsgruppen unterscheiden:

- Arme in ländlichen Gebieten, die nicht über genügend Eigenmittel verfügen, um ausreichend Nahrung zu produzieren. Hierzu zählen Kleinbauern und -fischer sowie Nomaden.
- Arme in städtischen Ballungsräumen, die wegen unzureichender Einkommen nicht ausreichend Nahrung erwerben können.
- Flüchtlinge und Vertriebene, die Opfer von Natur- und Umweltkatastrophen oder Kriegen sind.
- Frauen, Kinder, alte Menschen und teilweise auch ethnische Minderheiten, die wegen ihrer oftmals sozial benachteiligten Stellung generell für Nahrungskrisen anfällig sind.

forderungen für Forschung, Gesellschaft und Politik, da hier die Unwägbarkeiten und Schadensausmaße besonders hoch sind. Risiken der Welternährung zählen zu den Risiken des Globalen Wandels, die von der Gesellschaft iterativ behandelt werden müssen, d. h. durch schrittweise wissenschaftliche Analysen sowie beständige politische Neubewertung bei Veränderungen der Lage. Außerdem besteht großer und voraussichtlich langfristiger Forschungsbedarf, um die Dynamik von globaler Nahrungssicherheit und Globalem Wandel besser zu verstehen. Dabei sind sowohl Aspekte der Nahrungsproduktion als auch der -distribution zu berücksichtigen. In seinen bisherigen Gutachten hat der Beirat zu Einzelaspekten bereits Empfehlungen abgegeben (WBGU, 1994–1998a).

3.2.5

Überlagerung von Problemen des Globalen Wandels mit Nahrungsrisiken

Wie die Analyse deutlich gemacht hat, resultiert die Gefährdung der Ernährungssicherheit aus einer Vielzahl von Risiken, die sich auch aus Problemen des Globalen Wandels ergeben. Die Kernprobleme des Globalen Wandels wie beispielsweise Bodendegradation, Süßwasserverknappung, Klimawandel, zunehmende Wetterextreme, Reduzierung der biologischen Vielfalt, Bevölkerungsentwicklung oder wachsende Entwicklungsdisparitäten kumulieren mit intrinsischen Risikoaspekten hochintensiver moderner und teilweise auch traditioneller Agrarsysteme und erreichen eine bis dahin unbekannte und neue Risikoqualität.

Die Prognosen für Bevölkerungswachstum und die Steigerungspotentiale der Nahrungsproduktion verdeutlichen, daß die Phase der Ausweitung von Ackerflächen in Gunstgebieten weitgehend abgeschlossen ist und zunehmend weniger geeignete Böden genutzt werden müssen. Die Menschheit ist bereits in die nächste „Eskalationsstufe“ eingetreten, indem Produktionszuwächse im wesentlichen nur noch von einer Steigerung der Hektarerträge zu erwarten sind. Deshalb müssen alle Möglichkeiten, die eine angepaßte, nachhaltige und umweltschonende Bodennutzung fördern, ausgenutzt werden. Dazu gehört auch die Nutzung der in der Bio- und Gentechnologie enthaltenen Chancen (Kap. D 4).

Die modernen landwirtschaftlichen Systeme selbst haben Veränderungen erfahren, die sie zunehmend durch die Dynamik des Weltmarkts beeinflussbar machen. Hier müssen insbesondere die mögliche Deformation oder der Zusammenbruch von Distributionsnetzwerken für landwirtschaftliche Betriebsmittel, z. B. durch Preissteigerungen, Produktions- oder Transportengpässe beachtet werden.

Insgesamt ist die Sicherung der Welternährung nach Ansicht des Beirats eine der wichtigen Heraus-

Die Umwelt und ihre vielfältige Vernetzung mit der menschlichen Zivilisation bilden gemeinsam ein komplexes, dynamisches System. Eine wichtige Eigenschaft derartiger Systeme ist, daß sie sich nicht durch die Analyse der jeweiligen Teilsysteme vollständig erfassen lassen.

So sind diese Teilsysteme in der Regel durch einen hohen Stoff- und Energieaustausch verbunden, deren innere Dynamik zeitlich variabel ist und die oft durch rückkoppelnde Mechanismen geregelt sind. Dadurch unterscheidet sich der Gesamtcharakter des Systems gerade hinsichtlich seiner Antwort auf innere oder äußere Störungen deutlich von der einfachen Summe seiner Teilsysteme. Typisch für komplexe Umweltsysteme ist ferner, daß sie sich in der Regel in einem Ungleichgewicht befinden, das durch externe Faktoren beeinflußt oder gesteuert wird. Beispiele hierfür sind Agrarlandschaften oder bewirtschaftete Küstenzonen mit hohen Stoff- und Energieeinträgen.

Auch die Syndrome des Globalen Wandels sind das Resultat anthropogener Eingriffe in die Umwelt (Kap. E 4.2). Ihre charakteristischen Schadensmuster für Mensch und Natur lassen sich nicht in lineare Ursache-Wirkungs-Ketten zerlegen, sondern bilden komplexe multikausale Wirkungsnetze. Diese Muster lassen sich an verschiedenen Stellen der Welt in ähnlicher Weise wiederfinden (WBGU, 1996b). In der Sprache der Systemtheorie ausgedrückt beschreiben sie die Vielzahl der scheinbar stabilen, aber risikobehafteten Muster des komplexen Systems „Globaler Wandel“.

4.1

Komplexität und Risiko aus systemanalytischer Sicht

Die Tatsache, daß Umweltsysteme keine strukturell einfachen, linearen Systeme sind, geht mit einer besonderen Risikoqualität einher. Für das Verständnis dieser komplexen Risiken liefern die Theorie der nichtlinearen Dynamik und die Theorie der komplexen Systeme das Handwerkszeug. Dieses Hand-

werkszeug soll in diesem Kapitel kurz vorgestellt werden, denn damit lassen sich diese Besonderheiten analysieren, strukturieren und klassifizieren; in speziellen Fällen kann man damit auch geeignete Strategien zur Abhilfe entwickeln.

4.1.1

Charakteristiken komplexer Systeme

Um die Störanfälligkeit komplexer Umweltsysteme zu beurteilen wird zunächst untersucht, welche Reaktions- und Verhaltensweisen sowie Übergänge und Regimewechsel das System besitzt. Diese Wechsel können den Charakter eines Systems nachhaltig verändern. So können sich nicht nur die Mittelwerte und Variabilitäten von beobachtbaren Größen verändern, sondern auch völlig neue Strukturen oder Zusammenhänge entstehen (Topologie oder Dimensionalität des Systems).

Die Besonderheiten komplexer Umweltrisiken beruhen v. a. auf 2 grundsätzlichen Eigenschaften dynamischer Systeme: Nichtlinearität und Komplexität. Nichtlinearität bedeutet, daß die Zusammenhänge von Ursache und Wirkung im System nicht im proportionalen Verhältnis stehen. So kann eine sich stetig vergrößernde Störgröße längere Zeit ohne Wirkung bleiben, um dann plötzlich einen Systemumschlag auszulösen. Als Beispiel für Komplexität sei hier die Vernetzung einzelner Teilsysteme genannt, bei denen wesentliche Aspekte des Gesamtsystems nicht durch die Analyse der Teile verstanden werden können. Solche komplexen Systeme zeigen eine Reihe neuer Phänomene (emergente Eigenschaften), die selbst in komplizierten linearen Systemen nicht auftreten können. So können die nichtlinearen Wirkungen, die erst bei großen Kräften, Störungen oder Anregungen dominant werden, tatsächlich für das Gesamtsystem strukturbestimmend sein. In linearen Theorien werden diese Wirkungen als „kleine Störungen“ vernachlässigt, da ihre relative Größe bei geringen Kräften vernachlässigbar ist.

Daraus ergibt sich eine bestimmende Eigenschaft von komplexen Umweltrisiken: Das Verhalten dieser

Systeme kann in der Regel nicht langfristig prognostiziert werden. Dieses als *chaotische Dynamik* bezeichnete Phänomen kann selbst bei scheinbar einfachen Systemen auftreten, deren Veränderungen gesetzmäßigen (deterministischen) Regeln folgen (z. B. das nichtlineare Pendel; Duffing, 1918). Obwohl beispielsweise die Mechanismen des Wettergeschehens gut bekannt sind, ist es nicht längerfristig vorausberechenbar. Es konnte hier sogar gezeigt werden, daß selbst ein außerordentlich vereinfachtes Modell des Wetters ein sehr kompliziertes Verhalten aufweist (Lorenz, 1964). Darüber hinaus können komplexe Systeme auch bei nur geringen quantitativen Veränderungen äußerer Einflüsse plötzliche strukturverändernde Verhaltensschwünge vollziehen. Diese werden als „Bifurkationen“ bezeichnet und lassen sich hinsichtlich ihrer Verhaltensmuster und Übergänge katalogisieren (Guckenheimer, 1990). So kann in limnischen Ökosystemen beispielsweise ein plötzliches Massenwachstum von Algen (Algenblüte) auftreten, obwohl sich die Schadstoffeinleitung nur geringfügig erhöht hat. Ein weiteres Beispiel aus dem Alltag ist die Umwandlung von Wasser in Eis bei nur geringer Temperaturänderung in Gefrierpunktnähe, mit der Folge, daß z. B. der Wasserabfluß einer Region plötzlich und empfindlich verändert wird. In komplexen Umweltsystemen kommt erschwerend hinzu, daß sie in der Regel nur unvollständig untersucht sind. Stabiles Langzeitverhalten kann mit langsamem Übergangsverhalten (sog. Transienten) verwechselt werden (Braun und Feudel, 1996). Eine möglicherweise unzulässige Extrapolation des Verhaltens von Umweltsystemen kann dann zu folgenschweren Fehleinschätzungen des Langzeitverhaltens führen.

Neben den bereits genannten Besonderheiten nichtlinearer Systeme gibt es verwandte Phänomene, die sich unter dem Begriff *Strukturbildung* zusammenfassen lassen: dazu gehören Musterbildung in Raum oder Zeit (Kai, 1992; Grebogi und Kurths, 1995), Selbstorganisation und Synchronisation (Rosenblum et al., 1996), selbstorganisierte Kritikalität (Bak et al., 1987), Selbstähnlichkeit, Intermittenz (Daviaud et al., 1992), Turbulenz, Bildung von seltsamen Attraktoren (Lorenz, 1964) sowie Bi- und Multistabilität (Feinberg, 1980).

Das Phänomen der Multistabilität soll am Beispiel eines hypothetischen Planeten verdeutlicht werden. Dessen globales Klima kann sich in 2 sehr unterschiedlichen, aber jeweils stabilen Zuständen befinden: entweder ist er ein „Eisplanet“ oder ein „Wüstenplanet“ (Budyko, 1969). Ein Wechsel zwischen diesen beiden Zuständen kann entweder durch eine große externe Störung (z. B. Meteoriteneinschlag) herbeigeführt werden. Dabei muß es nicht unbedingt auch eine entsprechende „inverse Störung“ geben,

die den Übergang in den anderen Zustand sozusagen wieder rückgängig machen kann.

Die andere Möglichkeit ist erheblich gefährlicher: der Übergang in Form einer *Bifurkation*, also eines plötzlichen Systemumschwungs, der durch eine u. U. nur geringfügige Änderung äußerer Einflüsse ausgelöst wird (z. B. atmosphärisches Absorptionsverhalten). Die Gefährlichkeit dieses Szenarios beruht darauf, daß das System auch bei sofortiger Rückstellung des Einflusses erst allmählich und eventuell auf Umwegen wieder in den Ausgangszustand zurückkehrt (Hysterese). Eine ganz ähnliche Gefahr kann aus der Metastabilität eines Systems erwachsen, bei der der aktuelle Zustand nur scheinbar stabil ist, tatsächlich aber ohne äußere Einwirkung in einen anderen, stabileren Zustand wechseln kann.

Umgekehrt können Nichtlinearitäten aber auch dafür sorgen, daß „Aufschaukelungsprozesse“ gebremst und so extreme Systementwicklungen vermieden werden. Hierdurch werden sie also zum Garanten der Stabilität des Gesamtsystems.

Um einen ersten Überblick über mögliche Risiken eines Umweltsystems zu bekommen, werden alle Strukturbildungsphänomene des Systems in Diagramme (sog. Bifurkations- oder Phasendiagramme) eingetragen. Dabei werden auf einem Schnittmusterbogen diejenigen Gebiete markiert, in denen sich das System einheitlich verhält (Guckenheimer und Holmes, 1990). Dazu stellt die nichtlineare Dynamik mathematische Methoden und numerische Algorithmen zur Verfügung (Jansen, 1995; Seydel, 1988). Die systemaren Eigenschaften einzelner Gebiete unterscheiden sich nicht nur graduell, sondern qualitativ (z. B. stabil \leftrightarrow instabil, oszillatorisch \leftrightarrow chaotisch \leftrightarrow turbulent, flüssig \leftrightarrow fest \leftrightarrow gasförmig). An den Gebietsgrenzen treten in der Regel Bifurkationen auf. Angesichts der Tatsache, daß diese Bifurkationen dramatische Folgen haben können, heißt diese Disziplin in der Mathematik Katastrophentheorie (Arnold, 1992).

Kennt man von einem System das Bifurkationsdiagramm und weiß, welchen äußeren Einflüssen oder Parametern (z. B. Klima, stoffliche Belastung) das betrachtete System unterworfen ist, so kann man ablesen, in welchem Regime es sich befindet. Darüber hinaus lassen sich Aussagen treffen, wie weit es von einer möglichen „Katastrophe“, also einer Bifurkation entfernt ist. Auch läßt sich bestimmen, in welche Richtung man die Parameter beeinflussen muß, um das System zu stabilisieren und eine Bifurkation zu verhindern. Das setzt natürlich voraus, daß diese Parameter beeinflussbar oder technisch zugänglich sind.

Die Frage der zukünftigen Entwicklung eines Systems kann in den meisten Fällen nicht allein anhand des Bifurkationsdiagramms entschieden werden.

Hier spielt die extreme Sensitivität vieler Systeme auf kleine Störungen eine fundamentale Rolle. Unter bestimmten Voraussetzungen führt das Wechselspiel zwischen Komplexität und Nichtlinearität sowohl zu exponentieller Ausbreitung kleiner Störungen als auch zum exponentiellen Wachstum der Unsicherheit bei kleinem Meßfehler, ohne daß gleich das gesamte System kollabiert (Chaosregime). Nach kürzester Zeit hat sich die Störung bzw. Unsicherheit über das gesamte System ausgebreitet, d. h. die prognostische Unsicherheit beträgt 100%. Dieser Effekt wird in den Populärwissenschaften häufig als „Schmetterlingseffekt“ verkürzt wiedergegeben (wobei meist unerwähnt bleibt, daß hierfür bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein müssen). Bei linearer Fehlerfortpflanzung dagegen bewirkt beispielsweise ein 5%iger Anfangsfehler für alle Zeiten eine 5%ige Abweichung. Das exponentielle Wachstum des Fehlers im Chaosregime ist dafür verantwortlich, daß eine Vorusberechnung eines solchen Systems über kurze Zeitintervalle hinaus in der Regel unmöglich ist und sich auch nicht durch erhöhten Rechenaufwand kompensieren läßt. Diese prinzipielle Unmöglichkeit einer langfristigen Vorhersage des Verhaltens vieler Umweltsysteme macht es um so notwendiger, qualitative Aussagen über allgemeine Systemeigenschaften, beispielsweise seine Stabilität, zu treffen. Genau das können Bifurkationsanalysen leisten und in den entsprechenden Diagrammen darstellen. Allerdings ist vorübergehendes (transientes) Verhalten manchmal nur schwer von „echtem“ Chaos zu unterscheiden.

4.1.2 Risikopotentiale komplexer Systeme

Im folgenden sollen beispielhaft 3 Systeme vorgestellt werden, die ein hohes Risikopotential als Folge ihrer strukturellen Komplexität zeigen. Es handelt sich dabei um komplexes Verhalten ökologischer, ökonomischer sowie gesellschaftlicher Systeme. Viele dieser Phänomene können zumindest qualitativ erklärt werden. Eine umfassende Analyse der gezielten Einflußnahme auf solche Systeme steht jedoch noch aus (Kap. E 4.2). Hier besteht nach Meinung des Beirats hoher Forschungsbedarf.

Auf den ersten Blick erscheint es aussichtslos, soziale Systeme mit mathematischen Mitteln beschreiben und erklären zu wollen, indem sie auf wenige Meßgrößen reduziert werden. Daß es vielfach dennoch funktioniert, hat im wesentlichen 2 Gründe. Zum einen lassen sich auf Populationen statistische Methoden anwenden. So kann man z. B. zwar nicht voraussagen, welche Paare wann heiraten, aber die durchschnittliche Anzahl von Hochzeiten pro Jahr ist

durchaus prognostizierbar. Eine solche Statistik mißachtet zwar das Individualschicksal, kann aber vielfach dennoch das Gesamtverhalten modellieren. Der 2. Grund ist, daß die Individuen nicht unabhängig voneinander agieren. Ein gutes Beispiel hierfür sind kollektive Panikverkäufe, wenn die Aktienkurse unter ein bestimmtes Niveau sinken. Gerade aus derartigen Kopplungen heraus ergeben sich, wie im vorigen Kapitel erläutert, komplexitätsbedingte Risikopotentiale, die durch die Theorie der nichtlinearen Dynamik analysiert werden können.

Ökologie: Arrangements zwischen den Arten

Bei der häufig als Nahrungskette bezeichneten Hierarchie der Ressourcennutzung in einem Ökosystem handelt es sich bei genauerem Hinsehen um feinstrukturierte „Nahrungsnetze“. Die vielfältigen biotischen Interaktionen der beteiligten Arten (Räuber-Beute-Beziehungen, Konkurrenz, Symbiosen usw.) können zu einer Stabilisierung des Gesamtsystems beitragen. Dabei übernehmen alle Mitglieder gleichzeitig mehrere Funktionen (Produktion, Konsum, Destruktion) innerhalb des Energie- und Nährstoffflusses. Diese Vielschichtigkeit ermöglicht dem ökologischen System, auf äußere Einflüsse zu reagieren und das Gleichgewicht zu halten oder ein neues Gleichgewicht zu etablieren. Über lange Zeit gewachsene Beziehungsgeflechte zeichnen sich dabei durch die Eigenschaft aus, daß für viele („Abfall“) Produkte der Einzelprozesse auch Konsumenten existieren, die sie verwerten und weiter umwandeln. Das System befindet sich in einem selbststabilisierten Fließgleichgewicht, bei dem wesentliche Stoffflüsse durch negative Rückkopplungsschleifen über die beteiligten Arten miteinander verbunden sind, so daß das Gesamtverhalten des Systems gegenüber Störungen recht unempfindlich ist.

Im Gegensatz dazu stehen die künstlichen Ökosysteme unserer menschlichen Zivilisation. Die Veränderungen spielen sich auf evolutionshistorisch kürzeren Zeitskalen ab, und es werden in der Regel einzelne Produkte mit hohen Raten zu- oder abgeführt (Schadstoffeinleitung, Ernten aus Monokulturen). Der sich neu einstellende Systemzustand ist stofflich nicht ausbalanciert, es reichern sich einzelne Stoffe an (z. B. Bodenversauerung) oder es entsteht ein Mangel an Nährstoffen. Flora und Fauna sind kurzfristig großen Umstellungen unterworfen – das System kann sich strukturell verändern oder auch „umkippen“. Zumindest ist das interne Selbststabilisierungspotential des ökologischen Systems massiv eingeschränkt und kann zusätzliche Störungen, die auch natürlichen Ursprungs sein können, nicht mehr verkraften.

Ein weiteres Beispiel, das diese Risikocharakteristik näher verdeutlicht, ist die Störung des ökologischen Gleichgewichts zwischen vereinzelt auftretenden Bränden und der vorhandenen Biomasse (Holling et al., 1996), dessen Zusammenhang in Ökosystemen lange Zeit nicht vollständig verstanden worden ist. In vielen Ökosystemen hat sich über lange Zeiträume eine selbststabilisierende Regelungsfähigkeit entwickelt, so daß Störungen durch Feuer oder auch Insektenplagen das System in seiner langfristigen Existenz nicht gefährden, sie können im Gegenteil sogar für dessen Fortbestand notwendig sein. Durch einen falsch verstandenen Waldbrandschutz, bei dem kleinere Brände sofort bekämpft werden, kann dieses Gleichgewicht dann instabil werden. Es häufen sich dann mittel- bis längerfristig große Mengen brennbarer Biomasse an, so daß in der Folge aus kleinen Brandherden großflächige Zerstörungen entstehen können.

Ökonomie: Synergetische Effekte in der Wirtschaft

Ökonomische Systeme, insbesondere stark marktwirtschaftlich geprägte, weisen gewisse Ähnlichkeiten zu ökologischen Systemen auf. Viele Akteure (Produzenten, Konsumenten, staatliche Akteure) sind über Märkte miteinander verknüpft, beziehen in ihre einzelwirtschaftlichen Planungen die eigenen Zukunftsvorstellungen ein (etwa über Trends, aber auch über die Risiken und Chancen von Innovationen) und sind so zur laufenden Korrektur ihrer Planungen gezwungen. Preise stellen verdichtete Informationen z. B. über die Zahlungsbereitschaft der Nachfrager dar. Getrieben von der Suche nach ökonomischen Vorteilen bzw. der individuellen Nutzensteigerung versuchen die Produzenten etwa durch die Entwicklung neuer Produkte und Produktionsverfahren oder eine bessere Organisation der Beschaffungs- und Vertriebswege Nachfrage an sich zu binden und die Kosten zu senken.

Über die relativen Preise verändert sich die Nachfrage durch Mengen- und Substitutionseffekte, wobei sich auch neue Konsumstile entwickeln können. Der Wettbewerb, der immer wieder zur Entwertung überkommener Produkte oder Produktionskonzepte führt, erzeugt bei den Produzenten hohe Anpassungsflexibilität und Effizienz durch Anpassung an die Nachfrage und die stete Produktion neuen Wissens. Bei Konstanz bzw. Kalkulierbarkeit der politischen Rahmenbedingungen und Gültigkeit des Haftungsprinzips stellt sich hierbei auch eine Langfristorientierung mit risikomindernder Wirkung ein (Kap. F 2). Dies gilt v. a. dann, wenn möglichst viele Kosten und Vorteile der Produktion in die einzelwirtschaftlichen Gewinn- und Verlustrechnungen eingehen. Dieses System gleicht in gewisser Hinsicht ei-

nem Suchprozeß, der im hohen Maß sich selbst steuernde gesellschaftliche Zukunftsfähigkeit sichern kann. Bei hoher Preisflexibilität und Mobilität können diese Systeme auch Schocks und Störungen gut verkraften. Diese Belastbarkeit hat aber auch Grenzen: Sie reagiert auf ein Überschreiten dieser a priori schwer zu definierenden Grenzen mit einem wohlstandsmindernden Leistungszusammenbruch der ökonomischen Systeme.

Probleme treten auf, wenn unstete politische Signale oder inflationäre Rahmenbedingungen zur Kurzfristorientierung führen und es zu Überreaktionen kommt. Ähnliches kann eintreten, wenn die ökonomischen Systeme durch staatliche Aktivitäten überfordert werden oder der Ausfall von Wettbewerb zu einer Homogenisierung einzelwirtschaftlicher Planungsentscheidungen führt. Wenn sich hierdurch technologische Linien oder spezifische Verhaltensweisen (z. B. auch Konsumgewohnheiten) einseitig durchsetzen, können sich Entwicklungstendenzen mit höherem Risikopotential einstellen. In dem Maß, wie sich durch Globalisierung und Internationalisierung mächtige globale Unternehmensnetzwerke aufbauen, sinkt die bereits in der Vergangenheit beobachtbare geringe nationalstaatliche Steuerungsfähigkeit ökonomischer Systeme noch weiter ab. Die internationalen Bestrebungen müssen dann letztendlich durch globale Sicherung des Wettbewerbs, Durchsetzung des Haftungsprinzips, Verstärkung der politischen Rahmenbedingungen und Abbau von Inflationsrisiken Anreizsysteme schaffen, welche mehr Langfristorientierung und eine risikomindernde Wissensrevolution gewährleisten.

Soziologie: Sind Revolutionen vorhersagbar?

Um die Antwort vorwegzunehmen: Nein, sie sind es nicht. Aber dennoch gibt es wiederkehrende Gesetzmäßigkeiten, die ganz typisch für komplexe nichtlineare Systeme sind. Aus diesen wiederum lassen sich Indikatoren für die Anfälligkeit gegenüber Umwälzungen ableiten.

Individuen handeln nicht unabhängig voneinander, da sie in ein Sozialsystem eingebunden sind. Die „vorherrschende öffentliche Meinung“ wird dadurch zu einem kollektiven Phänomen. Man erkennt in ihr Aspekte der nichtlinearen Dynamik, wie z. B. Rückkopplungseffekte durch Kommunikation und Massenmedien, die Sensitivität auf kleine Störungen (Popularitätsumschwünge aufgrund einzelner Äußerungen) oder kritische Zustände (große Vorhersageunsicherheiten bei Wahlen in Krisensituationen mit der Möglichkeit gravierender politischer Umschwünge).

Am Aufflammen und Verlöschen von Modetrends läßt sich die Dynamik verdeutlichen. Zunächst muß der Nährboden für den Trend vorhanden sein (kriti-

scher Zustand). Vielfach handelt es sich dabei um neue technische Möglichkeiten (z. B. Mobilfunk) oder auch um Imageverluste von Produkten. Um die Welle auszulösen, genügt es dann, daß eine kleine Gruppe einen Selbstverstärkungsprozeß initiiert. Jenseits eines bestimmten Bekanntheitsgrads wird das Produkt schnell zur Selbstverständlichkeit in Medien und Öffentlichkeit. Da insbesondere die Massenmedien von ihren Kunden, also deren Interessen und Vorlieben abhängen, kommt es zu einer zusätzlichen verstärkenden Rückkopplung.

Eine sinnngemäße Übertragung auf politische „Stimmungsmache“ folgt ähnlichen Gesetzmäßigkeiten, was im politischen Geschäft regelmäßig ausgenutzt wird: Destabilisierung des Systems bei gleichzeitiger Ausbildung einer neuen Führungselite, die als agent provocateur fungieren kann. Umgekehrt wird in Diktaturen grundsätzlich versucht, Kommunikation – und damit Kopplungen und Rückkopplungen – zu kontrollieren und zu unterbinden, um genau solche kritischen Zustände zu unterdrücken.

4.1.3

Möglichkeiten und Grenzen der Steuerung komplexer Systeme

Grundsätzlich gibt es Möglichkeiten, in nichtlineare Systeme steuernd einzugreifen, noch bevor akkumulierte Fehler unkontrollierbar geworden sind (Shinbrot et al., 1992; Pyragas, 1992). Damit läßt sich im Prinzip permanente Kontrolle auch über chaotisches Verhalten erreichen. Hierfür gibt es unterschiedliche Ansätze, deren bekanntester die nach seinen Entwicklern Ott, Grebogi und Yorke benannte OGY-Methode ist (Ott et al., 1990). Von derartigen Methoden abgesehen sind in vielen Fällen auch „herkömmliche“ Techniken der Steuerungs- und Regelungstechnik anwendbar, um nichtlineare Systeme zu beeinflussen (Slotine und Li, 1991).

Trotz vieler Fortschritte und Erfolge im Verständnis und der Modellierung komplexer Systeme gibt es aber auch Grenzen. Gerade Umweltsysteme sind typischerweise sehr hoch-, vielfach sogar unendlichdimensional (Kontinuumsysteme) und übersteigen damit die analytischen und numerischen Möglichkeiten der aktuellen Wissenschaft und Computertechnik. Die bekanntesten Steuerungsstrategien funktionieren ebenfalls nur bei endlichen (insbesondere niedrigdimensionalen) Systemen.

Außerdem sind die meisten Umweltsysteme nur unvollständig bekannt oder meßbar. Vernachlässigte Einflüsse können aber im Sinn der oben beschriebenen Fehlerverstärkung die Ergebnisse u. U. in Frage stellen. Außerdem kann selbst bei Existenz einer per-

fekten Steuerstrategie die Auswahl des „gewünschten“ Zustands von nicht systemimmanenten Interessen abhängen. Schließlich ist zu bedenken, daß es sich beim gesteuerten oder geregelten System um ein neues und möglicherweise komplizierteres System handelt, das sich aufgrund von Einflußnahmen und möglichen Rückkopplungen unterschiedlich verhalten kann.

Ein neuer und vielversprechender Ansatz, der unvollständiges Systemwissen und die Unmöglichkeit langfristiger Vorausschau berücksichtigt, ist die sog. *Fuzzy Logic* (Böhme, 1993). Dies ist eine Technik, bei der mit Hilfe weicher Kriterien (der englische Begriff „fuzzy“ bedeutet „unscharf“) Entscheidungen immer nur für die unmittelbar nächsten Schritte getroffen werden, um ein globales Ziel zu erreichen oder eine Gefahrenlage zu vermeiden (Schellnhuber und Wenzel, 1998b). Die Fuzzy Logic hat sich gerade in solchen Situationen bewährt, in denen das System nicht vollständig beschrieben ist oder die funktionalen Beziehungen zwischen den Systemelementen möglicherweise nur qualitativ bekannt sind. In diesen Fällen bietet die Methode der Fuzzy Control eine Möglichkeit, auch qualitatives Expertenwissen für Steuerungsstrategien zu nutzen. Diese Methode eignet sich nicht nur zur Steuerung einfacher technischer Systeme, sondern auch zum Management äußerst komplexer Systeme.

So versucht beispielsweise die Bundesbank, wirtschaftliche Instabilität infolge hoher Inflationsraten zu vermeiden, indem v. a. makroökonomische Daten und bestimmte Erwartungshaltungen der Akteure auf der Basis von Expertenwissen bewertet und entsprechende Anpassungen der Zinssätze durchgeführt werden, ohne daß ein vollständig beschriebenes Modell des volkswirtschaftlichen Gesamtsystems zur Verfügung steht und das Langzeitverhalten des Systems bekannt ist.

Alle Steuerstrategien brauchen eine Zielvorgabe, aus der sich zumindestens ein „Nahziel“ definieren läßt. Dieses kann z. B. eine *Optimierung* eines ausgewählten Zielparameters, eine *Pessimierung* in Form der Vermeidung risikoreicher Situationen oder – mehr im Sinn der Bifurkationstheorie – die unbedingte *Vermeidung unerwünschter Szenarien* sein. Es kann allerdings auch zum Ziel gewählt werden, sich einen möglichst großen Entscheidungsspielraum offenzuhalten, also nur solche Zustände anzustreben, von denen aus später in möglichst viele Alternativen gewechselt werden kann. Leitlinie ist dann die Bewahrung möglichst vieler *Handlungsoptionen* (Schellnhuber und Kropp, 1998a).

Im konkreten Beispiel von Klimarisiken wären beispielsweise die Kosten einer Risikovorsorge gegen die Kosten einer Schadenskompensation unter der Nebenbedingung abzuwägen, daß das neue Kli-

ma unter keinen Umständen unzumutbare Grenzen überschreiten darf. Der Zielparameter für die Optimierung wären also die auftretenden Gesamtkosten, die möglichst klein zu halten sind. Hier offenbart sich jedoch auch ein für nichtlineare Systeme typisches Dilemma: durch Nichtstun, das die Akteure auch nichts kostet, lassen sich die Gesamtkosten so lange auf Null halten, bis das System eine Diskontinuitätsgrenze erreicht, plötzlich kollabiert und in kurzer Zeit sehr großer Schaden entsteht – verbunden mit entsprechend großen Gesamtkosten. Aus systemtheoretischer Sicht ist daher einer Strategie der kontinuierlichen Abwägung der Alternativen und entsprechender Anpassung der Steuerungsparameter der Vorzug zu geben.

Allerdings soll hier nochmals in Erinnerung gerufen werden, daß selbst bei guter Systemkenntnis ein komplexes System, wie etwa das Klimasystem, nur „weich“ gesteuert werden kann da, wie oben erläutert, Langzeitprognosen bei komplexen nichtlinearen Systemen nicht möglich sind. Nichtlinearitäten sind in Systemen nicht nur allgegenwärtig, sondern häufig führt gerade erst die vermeintlich vernachlässigbar kleine Wirkung zu dem beobachteten Strukturereignis. Die Fortschritte in der Modellierung dieser Systeme haben gezeigt, daß es disziplinenübergreifend einheitliche Grundtypen in den Modellen gibt. Mathematik und Computersimulationen haben mittlerweile geeignete Werkzeuge für den Umgang mit diesen Systemen entwickelt, zudem sind neuere Techniken in der Entwicklung und Erprobung. Auf dem Gebiet der sozialen Systeme steht die Wissenschaft aber noch am Anfang, hier besteht hoher Forschungsbedarf.

Einerseits liefert die Theorie komplexer Systeme technische und wissenschaftliche Fortschritte (z. B. Hochleistungslaser, Turbulenzphänomene, granulare Materialien), andererseits die erkenntnistheoretische Einsicht, daß Berechenbarkeit und Vorhersagbarkeit auch im „Computerzeitalter“ an natürliche Grenzen stoßen. Risiken globaler Umweltveränderungen werden sich also nicht durch Vorausberechnung eliminieren lassen. Das macht solche Berechnungen nicht wertlos, aber zur Beurteilung ihrer Qualität benötigt man die Angabe ihres Fehlerkorridors. Gleichzeitig mahnt das Wissen um die unvorhersagbaren Selbstverstärkungseffekte kleinster Störungen oder Eingriffe in ein System zur Skepsis gegenüber jeglicher langfristiger Prognose komplexer Systeme sowie zu Vorsicht im Handeln und zur ständigen Kontrolle des Ist-Zustands.

4.2

Syndrome: das Risikopotential des Globalen Wandels

4.2.1

Syndrome als Risikoverursacher und -verstärker

Nach Ansicht des Beirats wird sich als Folge des Globalen Wandels die Bedeutung von Umweltrisiken in vielen Regionen der Welt weiter verstärken. Neue oder verstärkte Bedrohungen wie z. B. extreme Wetterkapriolen und Verschiebungen von Klimazonen (IPCC, 1998), die weltweite Bevölkerungsentwicklung und die zunehmende Bodendegradation können zukünftig die Gefahrenpotentiale erhöhen. Gleichzeitig verstärkt sich die Verwundbarkeit vieler Regionen gegenüber Risiken durch die weltweiten sozialen und ökonomischen Veränderungen und die daraus erwachsenden Zwänge für Mensch und Natur. Das Schadensausmaß von Naturrisiken hängt nicht allein von der Stärke der ablaufenden geophysikalischen Prozesse ab, sondern auch von den regional vorhandenen Belastungen und Veränderungen der Umwelt sowie der regionalen und sozialen Krisenanfälligkeit (Kap. D 7 und E 2).

Entscheidend für eine Risikoabschätzung ist aber nicht nur der gegenwärtige Zustand einer Region oder Gesellschaft, sondern auch die Frage, welche zusätzlichen Veränderungen und Bedrohungen durch den Globalen Wandel entstehen. Für dicht besiedelte, arme oder durch Umweltdegradation bereits stark belastete Länder können selbst geringe Einwirkungen fatale Folgen haben, während dünn besiedelte, reiche oder bislang ökologisch intakte Regionen eine sehr viel geringere Verwundbarkeit aufweisen (Kap. E 2).

Hieran wird deutlich, daß eine zukunftsbezogene Abschätzung globaler Risiken nicht nur auf die Dimension der Ereigniskomponente (z. B. Eintrittswahrscheinlichkeit, Abschätzungssicherheit) abzielen darf, sondern auch das mögliche Schadenspotential sowie die Reaktionsmöglichkeiten „vor Ort“ berücksichtigen muß. Die dafür notwendige integrierte Abschätzung regionaler Vulnerabilitäten steckt noch in den Anfängen und muß verbessert werden (Kasperson et al., 1995).

Nach Ansicht des Beirats zählen zu den herausragenden Problemen des Globalen Wandels, die die weltweite Verwundbarkeit gegenüber den Folgen von Umwelt- und Naturkatastrophen erhöhen, die Veränderung des Klimas, der Verlust fruchtbarer Böden, die Abnahme der biologischen Vielfalt, die Verknappung des Süßwassers und die Übernutzung der Weltmeere (WBGU, 1996b). Auch die Zunahme von

(menschlich mitverursachten) Naturkatastrophen ist ein wesentliches Element des Globalen Wandels, z. B. als mittelbare Folge des mit einem höheren Ressourcenverbrauch verbundenen Bevölkerungswachstums, von zunehmender Migration oder der wachsenden Verstädterung.

Der Beirat hat in seinen Jahresgutachten mehrfach auf die Schwierigkeiten hingewiesen, die die vielfältige Phänomenologie des Globalen Wandels sowie seine komplexen Ursache-Wirkungs-Vernetzungen einer wissenschaftlichen Bearbeitung bereiten. Eine transdisziplinäre, an den Kernproblemen des Globalen Wandels orientierte Forschung, die auf der Basis des heutigen Wissens diese querschnittorientierten Problemfelder beschreibt und analysiert, ist dringend erforderlich (WBGU, 1996b). In diesem Zusammenhang hat der Beirat das *Syndromkonzept* als eine neue Strategie vorgeschlagen und für verschiedene Forschungsaufgaben erfolgreich genutzt (WBGU, 1994, 1996b, 1998a).

Syndrome sind weltweit erkennbare, typische Muster problematischer Mensch-Natur-Wechselwirkungen, die sich als regionale Schadensbilder für Mensch und Umwelt wiederfinden lassen. Sie beschreiben auf der Ebene von verursachenden Trends (z. B. wachsender Verbrauch von Rohstoffen und Energien, zunehmendes Verkehrsaufkommen oder Verarmung) und deren Verknüpfung (in Form von Verstärkungen, Abschwächungen, synergistischen Effekten usw.) die Schadensmuster an globalen Umweltgütern, regionalen Ökosystemen, sozialen Systemen und der menschlichen Gesundheit. Aus dieser systemanalytischen Perspektive macht es einen großen Unterschied, ob beispielsweise die Wälder der Erde von Kleinbauern und Landlosen aus Gründen der Existenzsicherung (Sahel-Syndrom) oder von multinationalen Konzernen aus Gründen der Gewinnmaximierung (Raubbau-Syndrom) gerodet werden. Für den Wald sind die Folgen identisch, unabhängig davon, wer ihn aus welchen Gründen rodet. Einer nach Ursache-Wirkungs-Ketten forschenden Wissenschaft kann dies nicht gleichgültig sein; ebensowenig wie einer wirksamen Politik zum Schutz der Wälder.

Die 16 wichtigsten Syndrome des Globalen Wandels hat der Beirat identifiziert und teilweise auch schon detailliert beschrieben (WBGU, 1996b, 1998a). Sie sollen in diesem Kapitel daraufhin überprüft werden, in welchem Maß sie die globalen Umweltrisiken verursachen oder verstärken bzw. die regionale Anfälligkeit für sie erhöhen. Dazu wird in einem ersten Schritt der allgemeine Wirkungszusammenhang zwischen Umweltrisiko und Syndrom skizziert, in einem zweiten Schritt wird der Beitrag der Syndrome zur Verursachung globaler Risiken dargestellt, und drittens wird der Beitrag der Syndrome zur Erhöhung regionaler bzw. globaler Verwundbarkeit für Risiken

hervorgehoben. Um diese allgemeinen Überlegungen am konkreten Beispiel zu vertiefen und damit die Eignung des Syndromansatzes für die Risikoforschung zu verdeutlichen, werden dann Klimarisiken im Hinblick auf jene Syndrome analysiert, die sie antreiben oder die die regionale Verwundbarkeit erhöhen (Kap. E 4.2.2). Abschließend wird dann die Perspektive verändert: Im Zentrum steht ein einziges Syndrom (Dust-Bowl-Syndrom), und es wird dargestellt, welche globalen Risiken durch das Muster der industriellen Landwirtschaft angetrieben oder welche Verwundbarkeiten dadurch erhöht oder geschwächt werden (Kap. E 4.2.3). Insgesamt soll dieser Abschnitt deutlich machen, daß die vom Beirat vorgeschlagene Risikotypisierung und -bewertung (Kap. C) durch den schon länger verfolgten Syndromansatz unterstützt werden kann (Tab. E 4.2-1).

Syndromkonzept und Risikoanalyse

Syndromkonzept und Risikoanalyse sind komplementäre wissenschaftliche Hilfsmittel, die hier beide genutzt werden sollen, um ein Bild des Globalen Wandels und der damit verknüpften möglichen Gefahren zu zeichnen. Gemeinsam ist beiden Ansätzen, daß sie Fragen der wissenschaftlichen Analyse, der Bewertung und der politischen Entscheidung verknüpfen. Risiko- und Syndromanalyse sind wissenschaftlich gestützte, wertimplikative und entscheidungsorientierte Verfahren der Abschätzung kritischer Entwicklungen im Schnittmengenbereich von Gesellschaft, Umwelt und Technik.

Die Unterschiede zwischen den Ansätzen liegen in den verschiedenen Entstehungs- und Verwendungszusammenhängen begründet. Risikoanalyse als das ältere Konzept wird verwendet, um technische Anlagen, Projekttypen, Technologien oder technisch-organisatorische Systeme hinsichtlich ihres Gefahrenpotentials in Form einer Risikoabschätzung (Eintrittswahrscheinlichkeit, Schadensausmaß) zu bewerten und bei Entwicklung und Implementierung der notwendigen risikomindernden Maßnahmen zu helfen. Der Schwerpunkt liegt auf Techniken und möglichen Technikfolgen.

In der Syndromanalyse als dem jüngeren Konzept geht es um global relevante Mensch-Natur-Interaktionen mit hohem Risikopotential. Dabei ist letztlich die Möglichkeit einer nachhaltig zukunftsfähigen Entwicklung der Menschheit in ökologischer, ökonomischer und sozialer Hinsicht gefährdet. Syndrome beschreiben globale Schäden in Form von typischen Schadensmustern. Aufgrund der Menge der daran beteiligten Einzelschäden sowie der Vielzahl der in einem Syndrom zusammengefaßten Antriebskräfte (Trends) operiert das Syndromkonzept mit einem weit komplexeren Risikobegriff als die technische Risikoanalyse.

Tabelle E 4.2-1
 Syndrome des Globalen
 Wandels.
 Quelle: WBGU

Syndrom(gruppe)	Beschreibung
SYNDROMGRUPPE „NUTZUNG“	
Sahel-Syndrom	Überbeanspruchung einer marginalen reproduktionsnotwendigen Ressourcenbasis
Raubbau-Syndrom	Konversion bzw. Übernutzung von Wäldern und anderen Ökosystemen
Landflucht-Syndrom	Umweltdegradation durch Preisgabe traditioneller Landnutzungsformen
Dust-Bowl-Syndrom	Nichtnachhaltige industrielle Bewirtschaftung von Böden und Gewässern
Katanga-Syndrom	Umweltdegradation durch Abbau nichterneuerbarer Ressourcen
Massentourismus-Syndrom	Erschließung und Schädigung von Naturräumen für Erholungs- und Erlebniszwecke
Verbrannte-Erde-Syndrom	Umweltdegradation durch militärische Nutzung
SYNDROMGRUPPE „ENTWICKLUNG“	
Aralsee-Syndrom	Umweltschädigung durch zielgerichtete Naturraumgestaltung im Rahmen von Großprojekten
Grüne-Revolution-Syndrom	Umweltdegradation durch Verbreitung standortfremder landwirtschaftlicher Produktionsverfahren
Kleine-Tiger-Syndrom	Vernachlässigung ökologischer Standards im Zug hochdynamischen Wirtschaftswachstums
Favela-Syndrom	Umweltdegradation durch unregelmäßige Urbanisierung
Suburbia-Syndrom	Landschaftsschädigung durch geplante Expansion von Stadt- und Infrastrukturen
Havarie-Syndrom	Singuläre anthropogene Umweltkatastrophen mit längerfristigen Auswirkungen
SYNDROMGRUPPE „SENKEN“	
Hoher-Schornstein-Syndrom	Umweltbelastung durch weiträumige diffuse Verteilung von meist langlebigen Wirkstoffen
Müllkippen-Syndrom	Umweltverbrauch durch geregelte und unregelmäßige Deponierung zivilisatorischer Abfälle
Altlasten-Syndrom	Lokale Kontamination von Umweltschutzgütern an vorwiegend industriellen Produktionsstandorten

- Es gibt globale Trends, die die Eintrittswahrscheinlichkeit für globale Risiken erhöhen, z. B. Zunahme von technischen Großprojekten, wachsendes Verkehrsaufkommen oder Industrialisierung.
- Andere Trends signalisieren eine Erhöhung des weltweiten Schadenspotentials, z. B. Zunahme des Sachkapitals, Urbanisierung oder Bevölkerungswachstum.
- Manche Trends deuten auf eine gleichzeitige Erhöhung von Schadenspotential und von Eintrittswahrscheinlichkeit, etwa Anwendung technischen Wissens.
- Syndrome operieren häufig mit Trends, die die Zunahme von Schäden beinhalten, z. B. zunehmende Luftverschmutzung, Bodenerosion oder Zunahme der Gesundheitsschäden.
- Syndrome beinhalten auch einzelne Trends, die eine risikodämpfende Wirkung haben, z. B. Zunahme umweltverträglicher Wirtschaftsweisen oder Verbesserung des technischen Umweltschutzes.
- Nicht bei allen Trends ist klar, ob sie sich als Risikoverstärker oder als -abschwächer auswirken werden. Zu diesen ambivalenten Trends zählen der medizinische Fortschritt, vermehrte Anwendung von Bio- und Gentechnologie oder Automatisierung/Mechanisierung.
- Der Syndromansatz kennt auch die Dimension der subjektiven Risikoperzeption, z. B. wachsendes Umweltbewusstsein oder Sensibilisierung für globale Probleme.

Syndrome als Verursacher globaler Umweltrisiken: Fallbeispiel Kernenergie

Die klassische Risikoanalyse spricht eine sehr deutliche Sprache dort, wo es um die Einschätzung von einzelnen Eintrittswahrscheinlichkeiten und Schadensausmaßen geht. Sie verstummt jedoch dort, wo nach den Ursachen, den Rahmenbedingungen und auch den Verknüpfungen von Risiken untereinander gefragt wird. Hier setzt die Syndromanalyse an. Sie eignet sich dort am besten, wo es um die Qualifizie-

rung von Schadensdynamiken und die Bestimmung der Wirkungspfade geht.

Als Beispiel werden Risiken aus der Nutzung der Kernenergie (Risikotyp Damokles) dargestellt, die bei sehr niedriger Eintrittswahrscheinlichkeit durch ein hohes Schadenspotential charakterisiert sind. Die klassische Risikoanalyse endet bereits bei der Frage nach der soziotechnischen Genese des Kernenergieerisikos. Auch sagt die Risikoanalyse wenig über die Systemeigenschaften einer Region aus, die zwar selbst die Kernenergie nicht nutzt, die aber im Schadensfall aufgrund ihrer hohen Verwundbarkeit besonders hohen Schaden nimmt. Hier kann die Syndromanalyse weiterhelfen. Für die Ursachenkomplexe des Kernenergieerisikos lassen sich eine Reihe von Syndromen benennen:

- Katanga-Syndrom: Beim Uranabbau kann es zur lokalen Kontamination durch Strahlung kommen, wodurch dieses Syndrom zur globalen Erhöhung des Kernenergieerisikos (Gewinnungsseite) beiträgt.
- Verbrannte-Erde-Syndrom: Hier werden die Gefahren durch die radioaktive Kontamination im Rahmen nuklear geführter militärischer Auseinandersetzungen oder auch durch terroristische Anschläge in ihrer Verflechtung mit anderen Risikofaktoren erfaßt.
- Kleine-Tiger-Syndrom: Ein wichtiges Charakteristikum dieses Syndroms ist der rasch wachsende Energiebedarf. Dieser wird häufig auch über den Ausbau der Kernenergie gedeckt. Bei allzu hektischer Entwicklung und Konzentration auf das Energiewachstum werden häufig Sicherheitsanforderungen nur ungenügend beachtet. Das ist besonders dann der Fall, wenn es sich um Kraftwerke mit niedrigen technischen Standards handelt.
- Suburbia-Syndrom: Die moderne, städtische Lebensweise führt nicht nur zur funktionalen und räumlichen Trennung von Arbeiten, Wohnen und Einkaufen (also zu Zersiedelung und wachsendem Verkehrsaufkommen), sondern auch bei hohem Stoff- und Energiedurchsatz sowie wachsenden Ansprüchen zu einem Anstieg der Energienachfrage. Sofern hier nicht Verhaltensumstellungen (Energiesparen) oder technische Alternativen (regenerative Energiequellen) zum Tragen kommen, begünstigt dieses, v. a. in den Industrieländern verbreitete Syndrom, den Einsatz von Energieerzeugungsanlagen mit hohen Energiedichten. Der Prototyp einer solchen Anlage ist das Kernkraftwerk.
- Havarie-Syndrom: Ein zentraler Trend dieses Syndroms ist das wachsende Technologierisiko, das von dem Einsatz komplexer und möglicherweise schwer beherrschbarer Techniken ausgeht. Dies ist v. a. dort gegeben, wo die technischen und orga-

nisatorischen Standards herabgesetzt oder nicht mehr angemessen berücksichtigt werden.

- Müllkippen-Syndrom: Einen besonders gefährlicher Aspekt der Nutzung von Kernenergie stellt die Endlagerung hochradioaktiver Prozeßabfälle dar. Durch die Entsorgung radioaktiver Abfälle bleibt je nach Sicherheitsstandard ein persistentes Risiko der Freisetzung von Radioaktivität bestehen.
- Altlasten-Syndrom: Stillgelegte Kernkraftanlagen sind eine weitere Risikokomponente. Das Altlasten-Syndrom beschreibt das Umweltschadensbild, bei dem die zivilisatorischen Stoffwechselprodukte aus vergangenen Entwicklungsphasen zu einem Problem der heutigen Generationen werden.

Syndrome als globale Muster können nicht konkret erklären, warum es zu einem Unfall im Reaktor x vom Typ y an Ort z kam. Gleichwohl können Syndrome einen wichtigen Beitrag zu der Frage leisten, warum das globale Risiko Kernenergie entstanden ist, warum es sich ausgebreitet hat, welche Ursache-Wirkungs-Beziehungen vorhanden sind und welche weiteren Risiken sich im Zusammenhang mit der Nutzung der Kernenergie ergeben können.

Syndrome als Verursacher globaler Umweltrisiken: Fallbeispiel Seuchen

Auch *Seuchen* (Risikotyp Zyklon) sind ursächlich mit weiteren Syndromen verknüpft:

- Massentourismus-Syndrom: Durch den weltweit zunehmenden Massentourismus verbreiten sich auch Krankheitserreger schnell und über weite Strecken. Viele Menschen in den Ursprungsländern der Touristenströme sind gegen diese für ihr Immunsystem unbekanntes Erreger nicht geimpft.
- Verbrannte-Erde-Syndrom: Gemeint ist die Gefahr von Seuchen durch bewußte Verbreitung von Krankheitserregern (bakteriologische Waffen) bei militärischen Auseinandersetzungen (z. B. Irak im ersten und vielleicht auch im zweiten Golfkrieg).
- Aralsee-Syndrom: Der Bau von großen Staudämmen trägt zu einem erhöhten Seuchenrisiko bei, weil je nach geografischer Lage und ökologischen Bedingungen große stehende Gewässer die Ausbreitung wasserbedingter Krankheiten (z. B. Schistosomiasis) begünstigen (WBGU, 1998a).
- Favela-Syndrom: Dichte Besiedlung, schlechte Infrastruktur (insbesondere Wasserver- und -entsorgung), hoher Armutsanteil sowie Politikversagen sind die wichtigsten Kennzeichen dieses Syndroms, das sich bei der Urbanisierung v. a. in Afrika, Asien und Lateinamerika ausbreitet (WBGU, 1998a).

- Müllkippen-Syndrom: Überall auf der Welt existieren Lagerstätten für Abfälle aller Art, die zu einer raschen Ausbreitung von ansteckenden Krankheiten führen können.

Auch hier gilt, daß Syndromanalyse nicht die konkrete Fallanalyse ersetzen kann. Die Syndromanalyse zielt vielmehr – zwischen isolierten Fallstudien und abstrakten Weltmodellen ohne kulturelle Ausdifferenzierung angesiedelt – auf die Identifizierung global relevanter Muster, die die Eintrittswahrscheinlichkeit, das Schadenspotential oder die Vulnerabilität für weltweite Risiken erhöhen.

Verwundbarkeit als Folge des Globalen Wandels

Die Verstärkung globaler Umweltrisiken kann auch aus einer höheren Verwundbarkeit bei unverändert großen Gefahren resultieren. Der Begriff der Verwundbarkeit kennzeichnet damit ein verändertes Schadenspotential v. a. auf regionaler Ebene, das sich aufgrund einer höheren Betroffenheit oder aber auch verringerter Abwehr- oder Nachsorgemaßnahmen in Form von unzureichendem Risiko- bzw. Katastrophenmanagement ergibt (Kap. E 2). Verwundbarkeit umfaßt dabei einen regionalen Gesamtkomplex, der sowohl das vorhandene Naturrauminventar als auch die ökonomischen, sozialen oder sonstigen zivilisatorischen Strukturen umfaßt. Im Zentrum stehen die unmittelbar betroffenen Menschen in der Region (Tab. E 4.2-2).

Das *Verbrannte-Erde-Syndrom* vergrößert die Verwundbarkeit für alle Risikotypen. Die Auswirkungen von Seuchen, die Freisetzung und Kontamination von Schadstoffen, die Verminderung von Ackerland und Transportwegen oder Überschwemmungen durch gebrochene Dämme sind typische Begleiterscheinungen von Kriegen. Aber auch andere Syndrome des Globalen Wandels wirken auf die Verwundbarkeit der in Tab. E 4.2-2 genannten geografischen Typen.

Am Beispiel der Bedrohungspotentiale durch die Nutzung der Kernenergie oder das Versagen großer Staudämme läßt sich verdeutlichen, daß Umweltrisiken vom Typ Damokles weltweit auch in „marginalen“ urbanen Räumen verbreitet sind. Hiermit sind nicht abgelegene Gegenden gemeint, sondern sozioökonomisch benachteiligte und von Urbanisie-

rungsprozessen oft überforderte Städte. Typischerweise tritt hier das *Favela-Syndrom* auf. Dieses Syndrom bedeutet ungeplante Verstädterung mit einem hohen Anteil informeller Siedlungen, Armut und charakteristischen Umwelt- und Gesundheitsgefährdungen. Es wird nicht einmal ein Mindeststandard hinsichtlich der Infastruktur für ein reagierendes, geschweige denn proaktives Katastrophenmanagement erreicht. Auf der anderen Seite werden an diesen Standorten oft risikobehaftete Industrien angesiedelt, die eine zusätzliche Anziehung auf die ländliche, meist unterprivilegierte Bevölkerung ausüben.

Ländlich „marginale“ Räume zeichnen sich durch geringe sozioökonomische, aber auch naturräumliche Belastbarkeiten aus. Das dort häufig zu beobachtende *Sahel-Syndrom* beschreibt marginale Standorte, in denen ländliche Armutsgruppen und von Ausgrenzung bedrohte Bevölkerungsschichten mangels Alternativen die natürlichen Reproduktionsgrundlagen gefährden. Die Probleme der Bevölkerung sind wachsende Verarmung, Landflucht, eine steigende Anfälligkeit gegenüber Nahrungskrisen sowie zunehmende Häufigkeit von politischen und sozialen Konflikten um knappe Ressourcen. Die Folgen reichen bis zur Verwüstung und Zerstörung der marginalen Standorte und damit hohen Risiken für Mensch und Natur. Dabei steigert das Sahel-Syndrom die Vulnerabilität.

Die Verwundbarkeit „entwickelter“ urbaner Räume unterscheidet sich im hohen Maß von den beiden erstgenannten Beispielen. Dennoch ist gerade durch die hohe Bevölkerungsdichte, die Siedlungs- und Produktionsstruktur sowie den Ausbau der Verkehrsinfrastruktur eine hohe Verwundbarkeit gegeben. Ein hohe Mobilität kann beispielsweise die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Seuchen stark erhöhen. Durch die hohe Konzentration von zivilisatorischem Inventar besteht ein sehr hohes Schadenspotential für die Risiken vom Typ Damokles (z. B. das Erdbeben von Kobe im Januar 1995) oder Zyklon.

Für die Verwundbarkeit „entwickelter“ ländlicher Räume, die sich zumeist auf Gunststandorten befinden, spielt das *Dust-Bowl-Syndrom* eine besondere Rolle. Hier sind Umweltschädigungen durch nicht-nachhaltige Nutzung von Boden oder Gewässern als Produktionsfaktoren für Biomasse unter hohem Energie-, Kapital- und Technikeinsatz angesprochen.

Tabelle E 4.2-2
Wechselwirkung zwischen Syndromen und Verwundbarkeit. Erklärung der Begriffe im Text.
Quelle: WBGU

Geografische Typologie	Syndrome mit Wirkung auf Verwundbarkeit
Marginale urbane Räume	Favela-Syndrom, Verbrannte-Erde-Syndrom
Entwickelte urbane Räume	Suburbia-Syndrom, Aralsee-Syndrom
Marginale ländliche Räume	Sahel-Syndrom, Verbrannte-Erde-Syndrom
Entwickelte ländliche Räume	Dust-Bowl-Syndrom, Landflucht-Syndrom, Verbrannte-Erde-Syndrom

Auf den verfügbaren Flächen sollen kurzfristig die größtmöglichen Erträge erzielt werden. Häufig werden diesem Ziel die langfristig wichtigen Umweltaspekte untergeordnet. Das Dust-Bowl-Syndrom umfaßt auch ähnlich motivierte Formen der Forstwirtschaft (z. B. Kahlschlag und nachfolgend Pflanzung schnell wachsender Monokulturen ohne Rücksicht auf Verluste der Bodenqualität oder der Biodiversität) oder der Aquakultur (Eutrophierung und Zerstörung von Küstenökosystemen). Die hier charakteristischen Betriebsmittel wie Hochertragsorten, Agrochemikalien und Mechanisierung bilden zwar die Grundlage für die moderne industrielle Biomasseproduktion, erzeugen jedoch eine hohe Verwundbarkeit hinsichtlich der Risiken vom Typ Zyklon oder Pandora. Das Risiko ist aufgrund des hohen Schadenspotentials und schwer verfügbarer bzw. realisierbarer Vorsorgemaßnahmen kaum zu handhaben. Die Entstehung des Dust-Bowl-Syndroms wird oftmals vom Aralsee-Syndrom begleitet. Der hohe Bedarf an Bewässerung, insbesondere in klimatisch ungünstigeren Regionen, führt weltweit zu Staudammprojekten, die die Vulnerabilität gerade in produktiven, ländlichen Regionen steigern (WBGU, 1998a).

4.2.2

Klimarisiken durch Syndrome des Globalen Wandels

Im folgenden werden die Wechselwirkungen zwischen den Syndromen des Globalen Wandels und den Risiken des Klimawandels behandelt. Insbesondere wird der Frage nachgegangen, inwieweit sich durch die Präsenz der Krankheitsbilder möglicherweise die Eintrittswahrscheinlichkeit oder das Schadenspotential der Klimarisiken verändern können.

Zusammenhang zwischen Klimawandel und Syndromen

Erste Hinweise auf den Zusammenhang zwischen den Syndromen des Globalen Wandels und dem Klimawandel gibt das Jahresgutachten 1996 des Beirats (WBGU, 1996b). Danach ist für 7 Syndrome ein Bezug zum Klimawandel festzustellen. Es sind dies

- aus der Syndromgruppe „Nutzung“ das Raubbau- und Dust-Bowl-Syndrom,
- aus der Syndromgruppe „Entwicklung“ das Aralsee, Kleine-Tiger-, Favela- und Suburbia-Syndrom sowie
- aus der Syndromgruppe „Senken“ das Hoher-Schornstein-Syndrom (WBGU, 1996b).

Die Verteilung über die 3 Syndromgruppen kann als Indikator für die komplexen Verflechtungen des Klimawandels mit anderen Problemen des Globalen

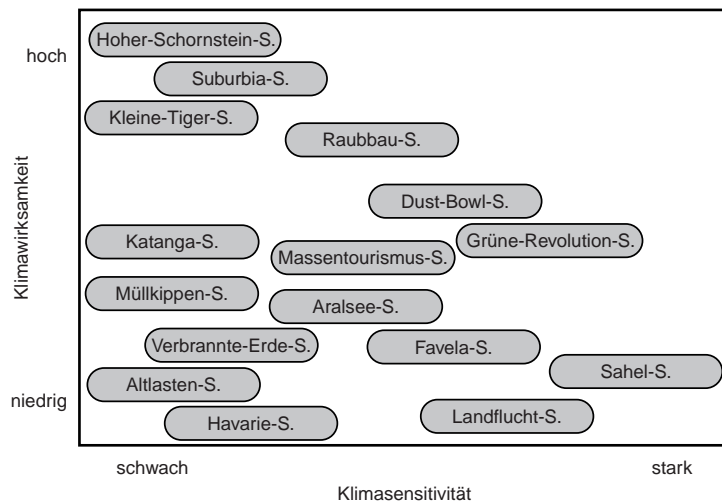
Wandels gewertet werden. Der Klimawandel ist also nicht nur Folge einer unangepaßten Nutzung der Naturressourcen, sondern auch Ergebnis nicht-nachhaltiger Entwicklungsprozesse und einer unangepaßten zivilisatorischen Entsorgung. Der Klimawandel ist dabei nicht nur eine Folgeerscheinung anthropogener Umweltveränderungen, sondern umgekehrt gehen vom Klimawandel auch Impulse aus, die die regionale Disposition und Exposition gegenüber den Syndromen abschwächen oder erhöhen können. Wenn es etwa wie beim Sahel-Syndrom zu einem übernutzungsbedingten Rückgang der Bodenvegetation kommt, wird in semiariden Regionen nicht nur das Desertifikationsrisiko erhöht, sondern durch eine veränderte Albedo auch das regionale Klima verändert. So kann das Sahel-Syndrom den anthropogenen Klimawandel verstärken. Umgekehrt können globale Klimaänderungen die regionalen Niederschlagsregimes auch so beeinflussen, daß bislang naturräumlich begünstigte Standorte sich zu marginalen entwickeln. Die Häufung von Dürren kann das Syndrom auslösen.

Die vom Beirat identifizierten Syndrome des Globalen Wandels lassen sich folglich in 2 Hinsichten betrachten: Zum einen kann ihr Beitrag zur Klimaänderung abgeschätzt werden, zum anderen ihre Sensitivität gegenüber Klimaänderungen. Einige Muster der Mensch-Umwelt-Interaktionen sind klimasensitiv (Abb. E 4.2-1). Hierzu zählen u. a. das Sahel- und das Landflucht-Syndrom. Auf der anderen Seite erweisen sich das Hoher-Schornstein- und das Kleine-Tiger-Syndrom als Mechanismen, die besonders starken Einfluß auf den Klimawandel ausüben. Das Grüne-Revolution-Syndrom und das Dust-Bowl-Syndrom wiederum sind dadurch gekennzeichnet, daß sie sowohl zum Klimawandel beitragen als auch von diesem beeinflußt werden.

Einfluß der Syndrome auf die Eintrittswahrscheinlichkeit von Klimarisiken

Der Einfluß der Syndrome auf die Risiken des Klimawandels ist wegen der unterschiedlichen und sich überlagernden räumlichen und zeitlichen Wirkungszusammenhänge schwer zu beurteilen. Infolge des anthropogenen Klimawandels (Hoher-Schornstein-Syndrom) erhöht sich nicht nur das Risiko für Extremereignisse wie Stürme, Fluten, Überschwemmungen, Dürren oder Flächenbrände, langfristig ist auch mit einer Verschiebung von Klimazonen zu rechnen, die ein zusätzliches Risiko der räumlichen Ausweitung von Krankheiten und Schädlingen mit sich bringt und zudem die Welternährung gefährden kann (Kap. E 3.2). Der mittelbare wie unmittelbare Stoffeintrag in die Umweltmedien kann überdies

Abbildung E 4.2-1
 Klimasensitivität und -wirksamkeit der Syndrome des Globalen Wandels.
 Quelle: nach Petschel-Held und Reusswig, 1998



eine existentielle Gefahr für küstennahe Ökosysteme oder Wälder bedeuten.

Da das Hoher-Schornstein-Syndrom nicht nur den globalen Treibhauseffekt beschleunigt, sondern auch für die eher regional wirksamen Spurengase und die lokale Verschmutzung von Boden, Wasser und Luft verantwortlich ist, zählt es zu den Mustern der Mensch-Umwelt-Interaktionen, die einen sehr großen Einfluß auf die Eintrittswahrscheinlichkeit der mit den Risiken des Klimawandels verbundenen Schadensereignisse ausüben.

Auch das Kleine-Tiger-, Suburbia-, Grüne-Revolution-, Raubbau-, Dust-Bowl- und Massentourismus-Syndrom tragen dazu bei, daß die Treibhausgase in der Atmosphäre zunehmen. Insofern erhöhen auch sie den Faktor „Eintrittswahrscheinlichkeit“ der angeführten Klimarisiken.

Neben den globalen Wirkungen können das Raubbau-, Grüne-Revolution-, Dust-Bowl-, Suburbia- und Aralsee-Syndrom auch regionale und lokale Klimarisiken erhöhen. Durch großräumige Veränderungen der Morphologie etwa durch Rodung, Desertifikation, das Absenken des Grundwasserspiegels oder Änderungen der Landnutzungsformen können das regionale Klima und damit die Eintrittswahrscheinlichkeit klimatischer Risiken stark beeinflußt werden.

Allerdings ist es kaum möglich, diese Form der Risikoerhöhung zu messen. Präzise Angaben zu Eintrittswahrscheinlichkeiten klimarelevanter Gefahrenlagen setzen erheblich bessere Kenntnisse über den Klimawandel und seine Kopplungen mit den Syndromen des Globalen Wandels voraus, als sie bisher vorliegen. In Kap. E 2.4 ist bereits auf die Wirkungen systeminterner Zufälligkeiten in einem komplexen Wechselwirkungssystem eingegangen worden, die derzeit festgestellt, aber noch nicht hinreichend erklärt werden können.

Zudem laufen die Wirkungen der Syndrome und der natürlichen Klimavariabilität auf die Risiken des Klimawandels häufig parallel, so daß eine differenzierte Zuordnung von Eintrittswahrscheinlichkeiten kaum möglich ist. Für die genannten Syndrome kann zwar festgestellt werden, daß sie im angeführten Sinn risikoe erhöhend wirken, quantifizierbar ist diese Wirkung jedoch nicht.

Einfluß der Syndrome auf das Schadenspotential von Klimarisiken
 Neben der Erhöhung der Eintrittswahrscheinlichkeit können die Syndrome des Globalen Wandels auch dazu beitragen, daß sich das Schadenspotential von Klimarisiken erhöht. Beispiele hierfür sind das Sahel-, Müllkippen- und Favela-Syndrom.

Wenn auf marginalen Standorten nicht nachhaltig gewirtschaftet wird und man sich den Grenzen der Tragfähigkeit nähert, erhöht sich durch das Sahel-Syndrom auch das mit den Klimarisiken verbundene Schadenspotential, weil möglicherweise keine „natürlichen Abwehrkräfte“ gegen plötzlich auftretende Extremwetterereignisse vorhanden sind. Starkregen von kurzer Dauer können mit einem Schlag die Existenzgrundlage vieler Menschen vernichten.

Das besondere Problem des Müllkippen-Syndroms liegt in der Lokalisierung, Verdichtung und Anreicherung von Schadstoffen. Hierdurch entstehen Schadstoffkombinationen, die bei extremen Wetterereignissen durch die Luft in nahegelegene Siedlungen transportiert oder aus dem Deponiebereich geschwemmt werden. Damit können Böden und Trinkwasser so geschädigt werden, daß Siedlungsbereiche unbewohnbar werden und erhebliche Gesundheitsgefährdungen entstehen.

Beim Favela-Syndrom ist eine hohe Bevölkerungsdichte bei gleichzeitig schlechter Infrastruktur typisch. Durch klimatisch bedingte Schadensereig-

nisse (z. B. Hangrutsche nach Starkregen oder Erdbeben) kann hier ein sehr hoher Schaden entstehen. Eine Besonderheit des Favela-Syndroms ist darin zu sehen, daß nicht nur das Schadenspotential, sondern auch die Eintrittswahrscheinlichkeit für die Klimarisiken erhöht werden (städtische Wärmeinseln).

4.2.3

Risiken des Dust-Bowl-Syndroms

Das Syndromkonzept unterscheidet 3 mit der Landwirtschaft verbundene Krankheitsbilder: das Sahel-Syndrom, das die armutsbedingte Übernutzung marginaler Standorte beschreibt (WBGU, 1996b), das Grüne-Revolution-Syndrom, das bei der Einführung unangepaßter Agrartechnologien in Entwicklungsländern entstehen kann (WBGU, 1998a) sowie das Dust-Bowl-Syndrom (Plöchl, 1997). Letzteres bezieht sich auf die naturräumlichen Folgen einer industrialisierten Landwirtschaft, die sich im Rahmen der Entwicklung nationaler und internationaler Märkte herausgebildet hat.

Als Folge dieser nicht-nachhaltigen Wirtschaftsweise können sich beträchtliche Umweltschäden ergeben. Die Spannweite reicht von der Veränderung der hydrologischen Verhältnisse, der Eutrophierung und Kontamination von Oberflächen- und Grundwasserreservoirs über den Verlust biologischer Vielfalt bis hin zur Anreicherung von Pestiziden in der Nahrungskette mit nachfolgenden Gesundheitsschäden und der Emission von treibhauswirksamen Gasen.

Das Dust-Bowl-Syndrom tritt sowohl in industrialisierten Ländern auf, in denen die Freisetzung von Arbeitskräften aus der Landwirtschaft durch Vergrößerung der Arbeitsproduktivität eine große Rolle spielt, als auch in Entwicklungs- und Schwellenländern.

Der zentrale Trend des Dust-Bowl-Syndroms ist die Intensivierung der Landwirtschaft, die durch Wechselwirkungen über verschiedene Sphären hinweg zur Degradation der natürlichen Produktionsgrundlagen führt (Abb. E 4.2-2). Angetrieben wird landwirtschaftliche Intensivierung durch ökonomische Entwicklungen zusammen mit technologischem Fortschritt, begleitet von Anspruchssteigerung und der Ausbreitung westlicher Konsum- und Lebensstile. Einige der beteiligten Trends tragen signifikant zur Erhöhung verschiedener zentraler Risiken bei:

- Typisch für die Intensivierung der Landwirtschaft beim Dust-Bowl-Syndrom ist der Einsatz von Hohertragsorten, die neuerdings mit Methoden der Gentechnologie entwickelt werden.
- Das Syndrom verschärft das Klimarisiko insbesondere durch Methanemissionen in der Tierhal-

tung und durch Naßreisanbau sowie durch N₂O-Emissionen infolge intensiver Ausbringung von Mineral- und Wirtschaftsdünger. Neben der Intensivierung spielen auch die Ausweitung der landwirtschaftlichen Flächen mit der sie begleitenden Konversion von Waldökosystemen eine wichtige Rolle. Alle landwirtschaftsbedingten Emissionen machen derzeit etwa 30% des jährlichen Zuwachses des anthropogenen Treibhauseffekts aus. Hiervon ist ein beträchtlicher Teil dem Dust-Bowl-Syndrom zuzuschreiben.

- Das Dust-Bowl-Syndrom geht häufig mit der Intensivierung der Bewässerung einher. So verdoppelte sich z. B. die bewässerte Anbaufläche in den USA zwischen 1940 und 1970. Zur Bereitstellung des Wassers wurden im Westen der USA große Staudammprojekte realisiert (z. B. Coloradoregulierung). Somit trägt das Syndrom zu den Risiken bei, die beim Bau von Dämmen entstehen (Aralsee-Syndrom, Kap. D 2, WBGU, 1998a).
- Durch Mechanisierung und den Einsatz von Hohertragsorten wird die Verwendung großer Mengen von Pestiziden notwendig, die wesentlich zum Risiko durch persistente organische Schadstoffe (POP) beitragen.

In Regionen, in denen das Dust-Bowl-Syndrom auftritt, ist demnach mit einem Beitrag zu den obengenannten Risiken zu rechnen. In Abb. E 4.2-3 ist die derzeitige weltweite Intensität des Syndroms dargestellt, die sich aus folgenden Basisindikatoren zusammensetzt:

- Grad der Degradation durch Ackerbau,
- Grad der Degradation durch Viehzucht,
- Grad der landwirtschaftlichen Arbeitsproduktivität und der Weltmarktorientierung.

Mit Hilfe des Syndromkonzepts läßt sich nicht nur bestimmen, in welchen Gegenden das Dust-Bowl-Syndrom aktuell auftritt, sondern man kann auch gefährdete Regionen identifizieren. Hierzu wurde eine erste Version der Bestimmung der Disposition gegenüber dem Dust-Bowl-Syndrom entwickelt, die auf globalen Abschätzungen von Gunststandorten und der für die landwirtschaftliche Nutzung wesentlichen Erreichbarkeit beruht. Vergleicht man dieses Resultat mit der Intensitätskarte, kann man durch das Dust-Bowl-Syndrom gefährdete Regionen identifizieren. Zu diesen gefährdeten Regionen zählen die Regenwaldgebiete Brasiliens, Venezuelas, der mittelamerikanischen Staaten, Mexikos und Papua-Neuguineas. In Afrika sind die südlichen Regionen von Nigeria, Ghana und der Elfenbeinküste sowie Teile des Kongos gefährdet. In einigen Ländern, die derzeit vom Grüne-Revolution-Syndrom betroffen sind, erscheint ein Übergang in das Dust-Bowl-Syndrom möglich (Indonesien, Bangladesch, Sri Lanka, Vietnam oder Myanmar).

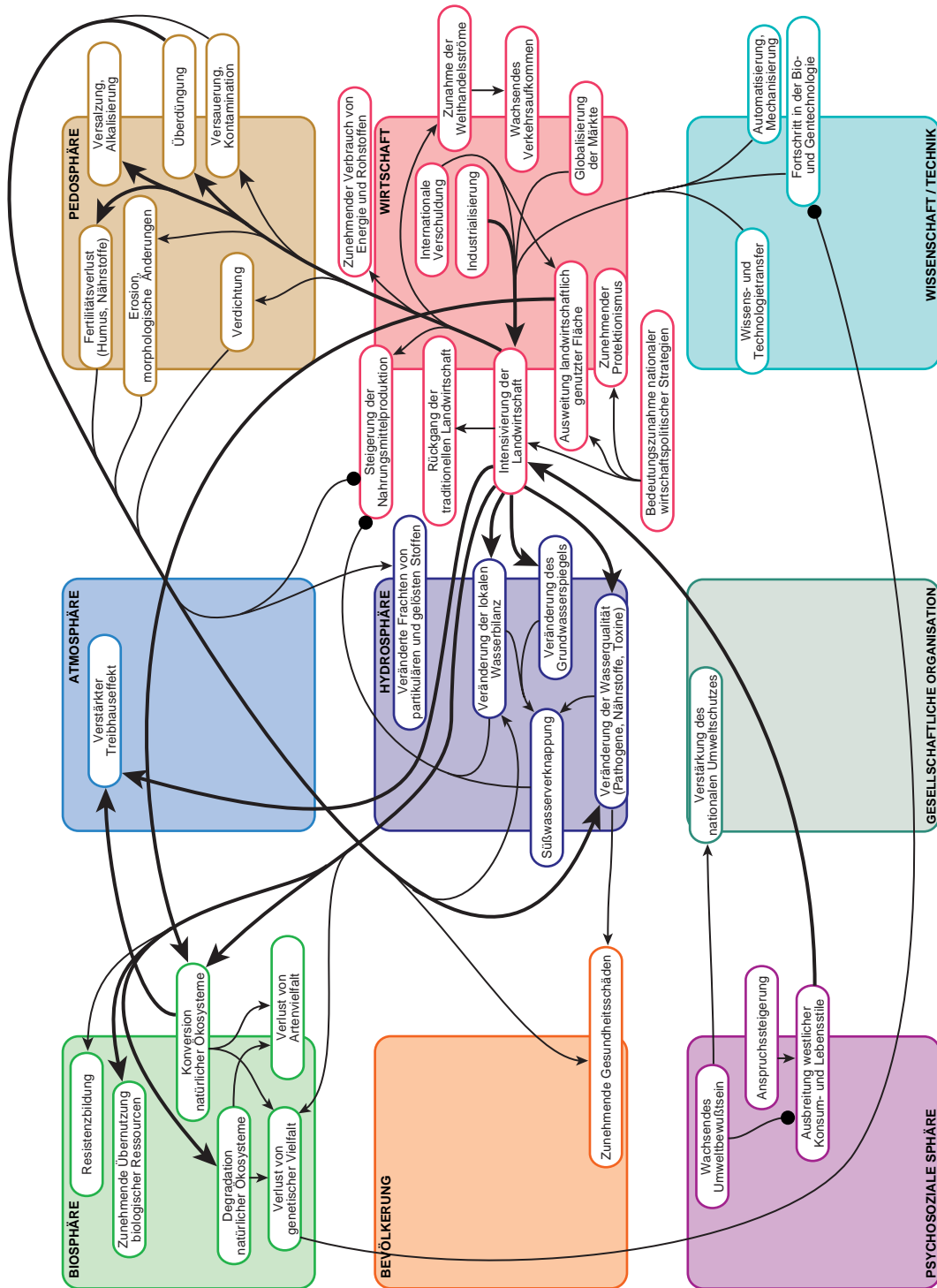


Abbildung E 4.2-2
 Beziehungsflecht des Dust-Bowl-Syndroms.
 Quelle: QUESTIONS-Projekt

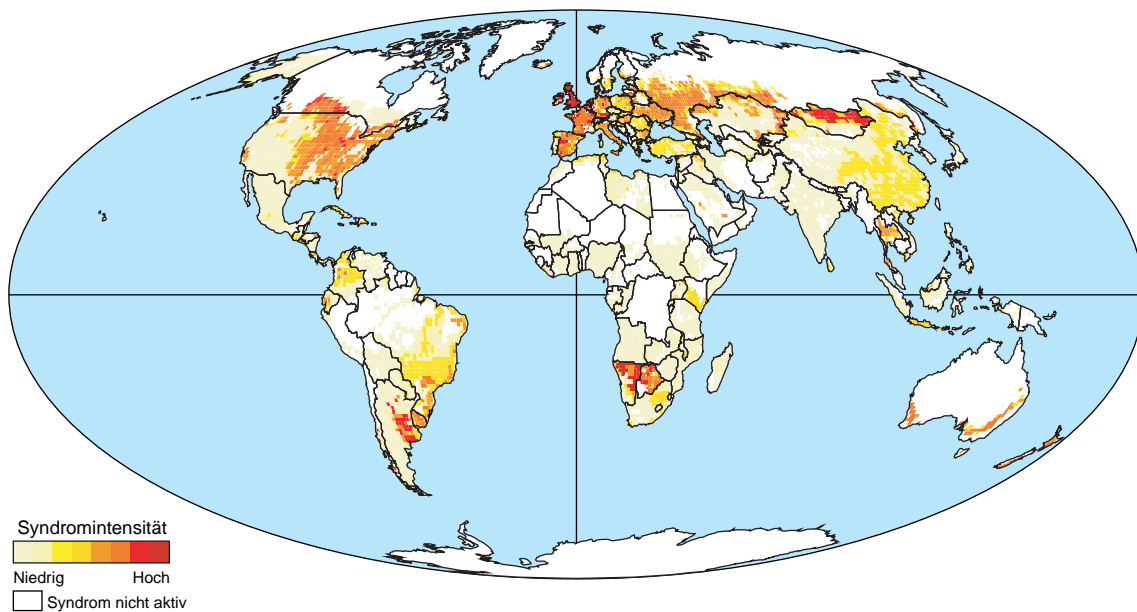


Abbildung E 4.2-3
 Intensität des Dust-Bowl-Syndroms.
 Quelle: QUESTIONS-Projekt; Plöchl, 1997

4.2.3.1
Quantitative Abschätzung der durch das Dust-Bowl-Syndrom hervorgerufenen Risiken

Das Schadenspotential des Dust-Bowl-Syndroms kann in verschiedene Komponenten zerlegt werden. Zum einen geht es um das Schadenspotential, das sich infolge bereits wirkender Mechanismen innerhalb von „Dust-Bowl-Regionen“ selbst ergibt. Dieses Potential setzt sich aus Real-, Eventual- und Ausgleichsschäden für den Agrarsektor zusammen (Kap. C 2). Zum anderen ist das Schadenspotential zu berücksichtigen, das durch das Dust-Bowl-Syndrom in anderen Regionen verstärkt werden könnte. Schließlich sind Folgeschäden abzuschätzen, die aufgrund der Flächenausdehnung des Syndroms durch die Konversion natürlicher Ökosysteme in „Dust-Bowl-Landwirtschaft“ zu entstehen drohen.

Risiko der Schädigung des landwirtschaftlichen Sektors durch das Dust-Bowl-Syndrom

Die Intensitätskarte des Dust-Bowl-Syndroms (Abb. E 4.2-3) basiert u. a. auf der Bewertung der Gefährlichkeit landwirtschaftlicher Bewirtschaftung, die im syndromspezifischen Beziehungsgeflecht durch die Trends der Bodenverdichtung, Erosion, Grundwasserabsenkung, Kontamination und Versalzung dargestellt sind. Daher kann man die so bestimmte Intensität als *Wahrscheinlichkeit* dafür interpretieren, daß

unter Beibehaltung der derzeitigen Produktionsmethoden zukünftig (im Sinn eines langfristigen Zeithorizonts) die natürlichen Produktionsgrundlagen für die Landwirtschaft durch das Dust-Bowl-Syndrom massiv geschädigt werden. Die Bestimmung des realen Schadenspotentials erfordert genaue Kenntnisse über den Wert des gefährdeten naturräumlichen und zivilisatorischen Inventars. Abgesehen davon, daß sich landwirtschaftliche Gunststandorte qualitativ erheblich voneinander unterscheiden, wird die Bewertung des realen Schadenspotentials dadurch erschwert, daß selbst bei vollständigem Verlust des landwirtschaftlichen „Produktionsmediums“ andere Nutzungen möglich sind (z. B. als Siedlungsfläche). Der natürliche Sachwert (Naturkapital) des Bodens, der z. B. von Costanza et al. (1997) ermittelt wurde, ist demnach von dem anthropogenen Sachwert (kultivierte und infrastrukturell erschlossene Böden) zu unterscheiden. Dieser ist nur schwer bestimmbar. Als Maß für das Schadenspotential des Dust-Bowl-Syndroms dürfte der Sachwert aber ohnehin von eher geringer Bedeutung sein: Das wesentliche Schadenspotential resultiert aus dem Nutzwert der Gunstböden.

Das Schadenspotential ergibt sich aus dem entgangenen Nutzen des Bodens (Eventualschaden). Das Dust-Bowl-Syndrom kann dazu führen, daß die Bodenbewirtschaftung erschwert wird oder aber die Produktivität zurückgeht. Im schlechtesten Fall wird der Boden überhaupt nicht mehr zu bewirtschaften

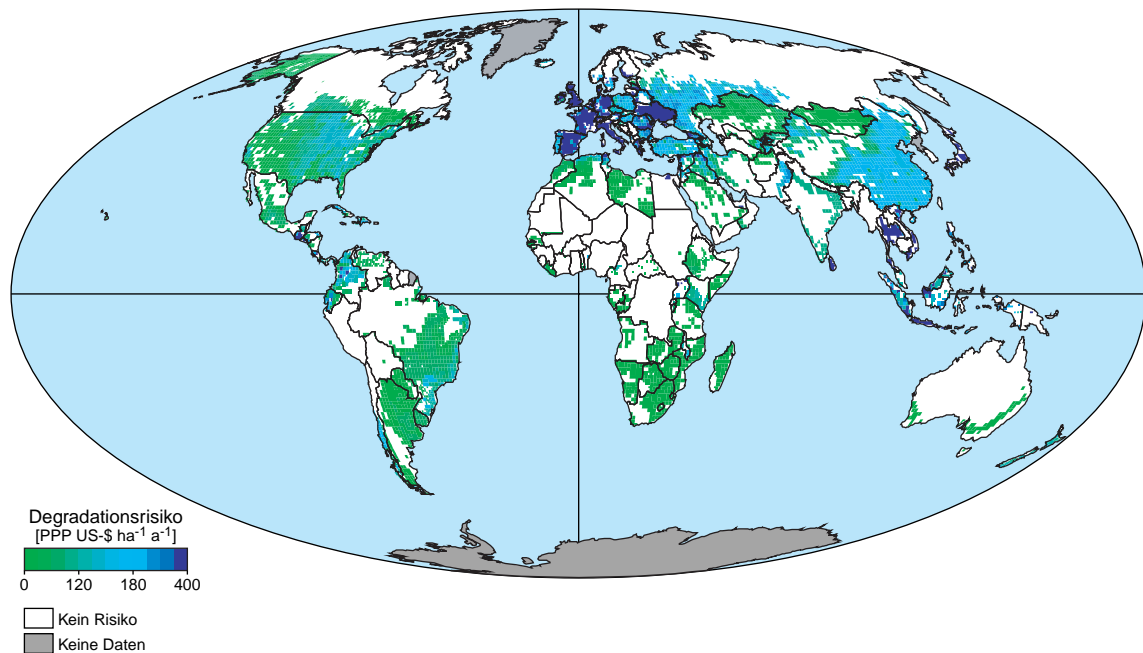


Abbildung E 4.2-4
Risiko für die Landwirtschaft durch das Dust-Bowl-Syndrom.
Quelle: QUESTIONS-Projekt

sein, so daß der entgangene Nutzen dem Marktwert aller landwirtschaftlichen Erzeugnisse entspricht, die ohne die schädlichen Auswirkungen des Dust-Bowl-Syndroms produzierbar wären. Insofern ist das Potential des Eventualschadens indirekt auch ein Maß für das Potential des Realschadens, da davon auszugehen ist, daß auf sehr fruchtbaren Böden vergleichsweise hohe Erträge zu erwirtschaften sind.

Da der Ausgleichsschaden des Dust-Bowl-Syndroms, der sich auf die *Folgen* eines entgangenen Nutzens durch das Syndrom bezieht, nur sehr schwer abzuschätzen ist (er hängt stark von der Einschätzung der Substituierbarkeit natürlicher Produktionsgrundlagen ab), wird im folgenden der Eventualschaden für die Risikoabschätzung gewählt. Das Schadenspotential des Dust-Bowl-Syndroms wird als entgangener Nutzen, d. h. als Ertragsverlust, dargestellt. Für das Jahr 1993 sind auf der Grundlage der FAO und des WRI die Anteile der industriellen Landwirtschaft am Bruttosozialprodukt von 159 Ländern ermittelt worden. Um das Schadenspotential des Dust-Bowl-Syndroms von dem des Grüne-Revolution-Syndroms unterscheiden zu können, ist für 18 der 159 Länder, deren industrielle Landwirtschaft eher der Grünen Revolution zuzuordnen ist (WBGU, 1998a), der Anteil der Getreideproduktion der landwirtschaftlichen Wertschöpfung abgezogen worden. Die Getreideerzeugnisse dieser Länder dienen vorwiegend der nationalen Selbstversorgung und stehen

dem Markt für landwirtschaftliche Produkte in der Regel nicht zur Verfügung.

Das so berechnete Schadenspotential wurde nun mit den Intensitätswerten des Dust-Bowl-Syndroms multipliziert (wobei näherungsweise das jeweils nationale Schadenspotential homogen auf die nationale landwirtschaftliche Nutzfläche verteilt wurde) (Abb. E 4.2-4).

Die größten absoluten Risiken pro Hektar treten demnach in der EU, Japan, Thailand, Sri Lanka und der Ukraine sowie in Teilen Indonesiens, Malaysias und Guatemalas auf. Betrachtet man das nationale Dust-Bowl-Risiko in Relation zum jeweiligen Bruttoinlandsprodukt, ergibt sich die in Tab. E 4.2-3 dargestellte Reihung der Länder, die Aufschluß über die gesamtwirtschaftliche Relevanz dieses Risikos gibt.

Hierbei fällt auf, daß unter den 10 kritischsten Ländern 5 des ehemaligen Ostblocks sind. In diesen Transformationsländern ergibt sich aus der umweltgefährdenden Landwirtschaft und dem gegenwärtigen Niedergang des industriellen Sektors eine signifikante Gefährdung. In einigen Entwicklungsländern, die deutlich vom Marktfruchtanbau (cash crops) geprägt sind, zeigt sich ein ähnliches Bild. Ohne ein baldiges Umsteuern in der Landwirtschaft gehen diese Länder ein besonders hohes Risiko der Schädigung ihrer Volkswirtschaften durch die Zerstörung ihrer natürlichen Produktionsgrundlagen ein (Kasten E 4.2-1).

Tabelle E 4.2-3
 Durch das Dust-Bowl-Risiko besonders gefährdete Länder
 (Schadenspotential für den Agrarsektor).
 Quelle: QUESTIONS-Projekt

Land	Dust-Bowl-Risiko pro Bruttoinlandsprodukt [%]
Georgien	28,5
Moldawien	11,3
Sri Lanka	11,3
Guatemala	9,9
Rumänien	9,0
Bulgarien	8,2
Thailand	8,0
Armenien	7,2
Vietnam	7,1
Ecuador	6,2

Risiko der Schädigung natürlicher Ökosysteme durch die Ausbreitung des Dust-Bowl -Syndroms

Beim Dust-Bowl-Syndrom ist eine „problematische“ Landnutzung in 2 Phasen untergliedert: Ausgehend von einem nahezu vollständig naturbelassenem Zustand in einer Region, die als disponiert gegenüber dem Syndrom angenommen wird (WBGU, 1996b), kann zunächst durch geeignete Faktoren die syndromspezifische Entwicklung ausgelöst werden (Exposition). Die Syndrominitialisierung, aber auch die Syndromdynamik selbst sind mit Naturschädigungen verknüpft. Im folgenden werden die durch die Landnutzungsänderung zu Beginn des Dust-Bowl-Syndroms hervorgerufenen Schäden und deren Risikocharakter abgeschätzt.

Der Schaden, der durch die Nutzung natürlicher Flächen für Ackerbau oder Viehzucht entsteht, läßt sich als Verlust von Funktionen des betroffenen Ökosystems charakterisieren. Solche Funktionen umfassen im weitesten Sinn

- Beiträge zu den biogeochemischen Zyklen,
- Funktionen der biologischen Vielfalt,
- stabilisierende Wirkungen auf die regionale Morphologie,
- Klimaregulation,
- kulturelle Funktionen,
- Erholungsfunktionen.

Im allgemeinen können landwirtschaftliche Nutzflächen ähnliche Funktionen erfüllen, wenn auch wesentlich modifiziert (z. B. Klima- und Gasregulation) oder reduziert (z. B. Biodiversität, Erholungswert). Hierbei erscheint es sinnvoll, die bei der Konversion entstehenden Funktionsverluste als nicht kompensierbar zu betrachten. Dies erscheint für das Dust-Bowl-Syndrom auch deshalb angemessen, weil es die kapitalintensive landwirtschaftliche Nutzung beschreibt, die mit einem weitestgehenden Verlust der Ökosystemfunktionen verknüpft ist.

Zur Abschätzung des Werts der bei der Konversion verlorengelassenen Ökosystemfunktionen wird auf die Arbeiten von Costanza et al. (1997) zurückgegriffen, die durch umfassende Literaturstudien eine Monetarisierung dieser Funktionen vorgenommen haben. Auf diese Weise werden den tropischen und borealen Wäldern, den Gras- und Weideländern und den Feuchtgebieten spezifische monetäre Bewertungen zugewiesen. Die betrachteten Ökosystemfunktionen umfassen 17 Kategorien. Obwohl die Arbeit von Costanza et al. nicht unumstritten ist und der Beirat bereits früher seine Vorbehalte in Bezug auf eine vollständige Monetarisierung des Naturnutzens zum Ausdruck gebracht hat (WBGU, 1993), können die hier getroffenen Bewertungen zumindest hinsichtlich ihrer Verteilung und Größenordnung als ausreichend begründet und daher für den hier verfolgten Zweck als hinreichend betrachtet werden. Problematisch ist dabei allerdings die globale Mittelung, weil zwischen lokalen und globalen Leistungen nicht unterschieden wird (z. B. Wasserfilterung durch Feuchtgebiete vs. Klimaregulierung). Auch wird diese Leistung nicht in Bezug zu einer potentiellen oder tatsächlichen Nachfrage gesetzt, was jedoch in dem von Costanza et al. benutzten Rahmen der Zahlungsbereitschaftsanalyse bedeutsam ist. Daher müssen die erzielten Resultate als eine erste, recht grobe Analyse betrachtet werden. Nach Costanza et al. (1997) beläuft sich der Funktionswert eines tropischen Walds auf 2.007 US-\$ ha⁻¹ Jahr⁻¹, für einen borealen oder temperaten Wald auf 302 US-\$ ha⁻¹ Jahr⁻¹, für Marschland oder Mangroven auf 9.900 US-\$ ha⁻¹ Jahr⁻¹, für Sümpfe oder Schwemmland auf 19.580 US-\$ ha⁻¹ Jahr⁻¹ und für Gras- oder Weideland auf 232 US-\$ ha⁻¹ Jahr⁻¹ (Zahlen jeweils für 1994).

Es fällt auf, daß neben den tropischen Wäldern insbesondere den Feuchtgebieten ein hoher Wert zugewiesen wird. Während tropische Wälder für die globale Umsetzung von Nährstoffen und die Klimaregulierung bedeutsam sind, ist der hohe Wert der Feuchtgebiete in ihrer Filter- und Regulierungsfunktion begründet. Im folgenden werden diese Werte verwendet, um mit Hilfe einer globalen Ökosystemklassifikation (Olsen et al., 1985) eine Karte über den Wert der naturräumlichen Funktionen zu erstellen. Dieser Wert geht durch eine Konversion in landwirtschaftliche Nutzfläche verloren und stellt somit den potentiellen Schaden bei einer Nutzung dar, die durch das Dust-Bowl-Syndrom beschrieben wird.

Zur Abschätzung der Wahrscheinlichkeit, mit der die Konversion von einem weitgehend naturbelassenen Ökosystem zu einer landwirtschaftlichen Nutzfläche stattfindet, muß die Disposition bestimmt werden. Die Disposition ist die Abschätzung der Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Syndroms zu einem beliebigen Zeitpunkt. Die hier versuchte glo-

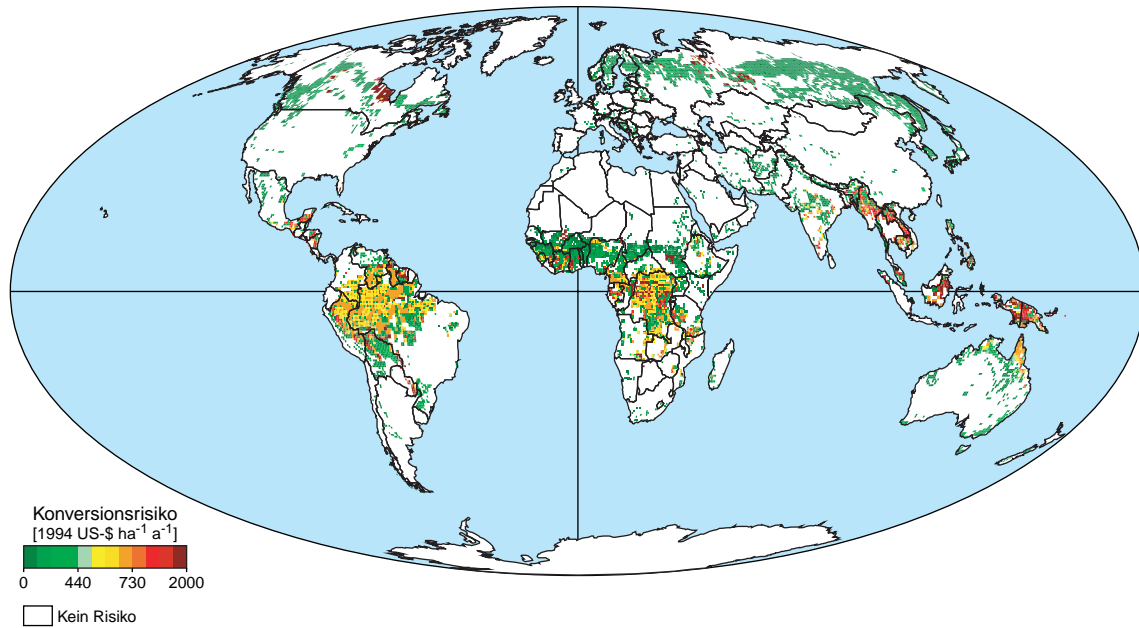


Abbildung E 4.2-5
 Risiko durch die Ausbreitung des Dust-Bowl-Syndroms in disponierte Regionen. Die Abbildung zeigt den Indikator in logarithmischer Darstellung, d. h. mit einer Spreizung der kleinen und mittleren Werte. Risiken größer 2.000 US-\$ ha⁻¹ Jahr⁻¹ werden in der Farbskala nicht gesondert dargestellt, auch wenn in einigen Regionen Südostasiens der Maximalwert 19.580 US-\$ ha⁻¹ Jahr⁻¹ erreicht.
 Quelle: QUESTIONS-Projekt

bale Indizierung der Disposition beruht auf der Abschätzung landwirtschaftlicher Gunststandorte (Cassel-Gintz et al., 1997) und der Erreichbarkeit (Cassel-Gintz, 1997) als Indikator der Marktnähe. Es muß jedoch berücksichtigt werden, daß auf diese Weise auch Regionen als disponiert indiziert werden, in denen das Syndrom bereits anzutreffen ist. Somit müssen von der globalen Dispositionsverteilung jene Regionen ausgenommen werden, in denen bereits eine Syndromintensität zu beobachten ist. Auf diese Weise ergibt sich eine erste Abschätzung der globalen Wahrscheinlichkeitsverteilung für den Übergang von einem weitgehend naturbelassenen Ökosystem zu landwirtschaftlicher Nutzung in Form des Dust-Bowl-Syndroms. Durch Multiplikation der beiden Indizes erhält man eine erste globale Risikobewertung für das Konversionsrisiko des Dust-Bowl-Syn-

droms und damit auch für den Verlust von Ökosystemfunktionen.

Die verbleibenden Feuchtgebiete weisen ein hohes Risiko für den Verlust der Ökosystemfunktionen auf (Tab. E 4.2-4). Zu beachten sind außerdem einige boreale Regionen an der Hudson Bay und im westlichen Sibirien mit Werten von 500–900 US-\$ ha⁻¹ Jahr⁻¹, die aufgrund ihres geringen landwirtschaftlichen Potentials und damit ihrer geringen Disposition dem klassischen Risikotyp entsprechen: Ein hoher Schaden ist mit einer relativ geringen Wahrscheinlichkeit für eine Konversion verknüpft.

Da es nicht sinnvoll ist, das Konversionsrisiko auf nationaler Ebene zu aggregieren, weil der auftretende Schaden nicht in „lokal“ und „global“ aufteilbar ist, bietet sich ein Vergleich der Konversions- und Degradationsrisiken an. Hierbei zeigt sich, daß das globale Konversionsrisiko durch die Ausbreitung des

Ökosystem	Funktionswert für 1994 [US-\$ ha ⁻¹ Jahr ⁻¹]				
	Tropischer Wald	Borealer/ Temperater Wald	Marschland/ Mangroven	Sümpfe/ Schwemmland	Grasland/ Rangeland
	2.007	302	9.900	19.580	232

Tabelle E 4.2-4
 Monetarisierter Wertsetzung der Leistungen verschiedener Ökosysteme.
 Quelle: Costanza et al., 1997

Kasten E 4.2-1

Umweltdegradation als Risiko für die internationale Sicherheit?

Eines der häufig genannten Risiken des Globalen Wandels ist die Gefahr von „Umweltkriegen“, also von gewalttätigen Konflikten zwischen Staaten oder innerhalb von Staaten, die zumindest z. T. durch Umweltdegradation und den Mangel an natürlichen Ressourcen mitverursacht werden (Bächler et al., 1996; Calließ, 1995; Carius et al., 1998). In Zusammenarbeit mit dem Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, dem Heidelberger Institut für Internationale Konfliktforschung und dem Berliner Institut Ecologic wurde inzwischen versucht, den Syndromansatz für die empirische Friedens- und Konfliktforschung zu nutzen (Biermann et al., 1998a, b). Dabei wurde geprüft, inwieweit einzelne Syndrome des Globalen Wandels mit gewaltsamen und nichtgewaltsamen Konflikten zwischen und innerhalb von Staaten korrelieren, wobei bestehende Ergebnisse der Syndromanalyse mit Datensätzen aus der Heidelberger KOSIMO-Datenbank verknüpft wurden. Der konflikttheoretische Ansatz KOSIMO (Konflikt-Simulations-Modell) wurde von 1988–1991 am Heidelberger Institut für Politische Wissenschaft erarbeitet (Pfetsch, 1991, Pfetsch und Rohloff, 1998; Rohloff, 1998); seit 1991 werden die Datensätze vom Heidelberger Institut für Internationale Konfliktforschung in Zusammenarbeit mit dem Institut für Politische Wissenschaft aktualisiert und ausgewertet.

Der syndromanalytisch-konflikttheoretische Ansatz ermöglicht es unabhängig von empirisch tatsächlich beobachteten Konflikten „kritische Umweltsituationen“ zu ermitteln und diese Situationen in einem 2. Schritt mit realen Konflikten abzugleichen. Auch wenn der Ansatz aufgrund seiner globalen Perspektive individuelle Konflikte weder vollständig erklären noch prognostizieren kann, so ist doch die Bestimmung signifikanter globaler Korrelationen zwischen einzelnen Syndromen des Globalen Wandels und Konflikten möglich. Dies wurde im Detail bislang für das Aralsee- und das Sahel-Syndrom unternommen (Biermann et al., 1998a und b).

Die Untersuchung der weltweiten kritischen Oberlieger-Unterlieger-Situationen im Rahmen der Forschung zum Aralsee-Syndrom zeigte, daß zwischen naturräumlichen Interdependenzen, relativ niedrigem Wasserdargebot pro Kopf und internationalen Konflikten ein statistisch signifikanter Zusammenhang besteht, der allerdings wegen der geringen Gesamtzahl von Konflikten um Wasser und einer Reihe von Sonderbedingungen nur vorsichtig interpretiert werden darf (Tab. E 4.2-5). Denn in einigen der analysierten Fälle lassen sich zwar tatsächlich Konflikte um Wasser feststellen, aber dies ist oft durch andere Einflußfaktoren erklärbar (v. a. die Kriege zwischen Indien/Pakistan und Israel/arabische Staaten), nicht jedoch aus der kritischen Wassersituation selbst. Vor allem diese anderen Einflußfaktoren haben zum Ausbruch des Konflikts um das relativ knappe Wasser geführt oder diesen maßgeblich gefördert, wie etwa eine sicherheitspolitisch motivierte Regionalpolitik (Türkei/Kurdistan), ein konfliktberechtigtes, isoliertes Regime wie im Sudan oder ein bestehender zwischenstaatlicher Konflikt (Israel/Jordanien, Indien/Pakistan). Wo solche besonderen Einflußfaktoren nicht vorliegen, ist zumindest z. Z. bei vergleichbar kritischen Interessenlagen in den meisten Fällen eine kooperative Bearbeitung der Situation festzustellen.

Die Analyse des Sahel-Syndroms zeigte eine auffällige Korrelation zwischen dem Auftreten des Syndroms und innerstaatlichen gewaltsamen Konflikten. Natürlich ist diese Korrelation keine Erklärung für einen kausalen Zusammenhang, da auch ein bereits vorliegender innerstaatlicher gewaltsamer Konflikt den Ausbruch des Sahel-Syndroms beeinflusst haben könnte. Die globale Analyse auf der Basis eines syndromanalytisch-konflikttheoretischen Ansatzes vermag dennoch, einen deutlichen Zusammenhang zwischen dem Auftreten des Sahel-Syndroms und innerstaatlichen gewaltsamen Konflikten nachzuweisen.

Die interdisziplinäre Fortentwicklung des Ansatzes verspricht eine weitere wünschenswerte Vertiefung und Differenzierung der Analyse, die die am stärksten korrelierenden Variablen an der Schnittstelle zwischen Umwelt und Sicherheit noch schärfer herausarbeitet und so einen verbesserten methodischen und empirischen Beitrag zur Debatte leistet.

Oberlieger	Unterlieger	x_o	x_u	x_{total}	Wasserkonflikt
Israel	Jordanien	1,000	1,000	1,000	Wasserkonflikt
Ukraine	Moldau	0,335	1,000	0,655	
Algerien	Tunesien	0,742	1,000	0,637	
Indien	Pakistan	0,000	1,000	0,500	Wasserkonflikt
Afghanistan	Pakistan	0,000	1,000	0,500	
Irak	Kuwait	0,000	1,000	0,500	
Sudan	Ägypten	0,000	1,000	0,500	Wasserkonflikt
Türkei	Syrien	0,000	0,946	0,473	Wasserkonflikt
Afghanistan	Usbekistan	0,874	0,393	0,368	
Oman	Vereinigte Arabische Emirate	0,335	1,000	0,353	
Indien	Bangladesch	0,698	0,367	0,312	Wasserkonflikt
Belarus	Ukraine	0,000	0,616	0,308	
Nordkorea	Südkorea	0,000	0,971	0,269	
Österreich	Tschechien	0,000	0,477	0,238	
Syrien	Irak	1,000	0,236	0,236	Wasserkonflikt

Tabelle E 4.2-5
Die 15 weltweit kritischsten Oberlieger-Unterlieger-Interessenlagen.
 x_o Kritikalität der Abhängigkeit des Oberliegers vom dem Unterlieger zufließenden Wasser.
 x_u Kritikalität der Abhängigkeit des Unterliegers vom zufließenden Wasser.
 x_{total} Gesamtkritikalität „Wasserkonflikte“ nach quantitativen und qualitativen KOSIMO-Daten.
Quelle: Biermann et al., 1998a,b

Dust-Bowl-Syndroms (1,92 Mrd. US-\$ Jahr⁻¹) etwa 80mal größer als das Degradationsrisiko (22,6 Mrd. US-\$ Jahr⁻¹) ist. Bei der Ermittlung des Dispositionsrisikos wurden der mögliche Schadensausgleich vernachlässigt und damit eine konservative Abschätzung vorgenommen, die nur bei vollständiger Substituierbarkeit zutrifft. Dennoch ist eine Ausweitung der industriellen Landwirtschaft in noch nicht bewirtschaftete Regionen äußerst risikoreich. Dies gilt insbesondere für die tropischen Regenwälder und Feuchtgebiete (Abb. E 4.2-5), in denen z. B. Bevölkerungswachstum, Nahrungsmittelknappheit, Marktfurchtanbau oder Raubbau an Holzressourcen Druck auf die ungenutzten Landressourcen ausüben. Eine Ausweitung der landwirtschaftlichen Nutzung, die die natürlichen Ökosystemleistungen zumindest teilweise erhält (z. B. Agroforstwirtschaft), würde dieses Risiko ebenso mindern wie die Umorientierung der Politik im Sinn der aktuellen Armutsdiskussion (Empowerment of the poor).

1.1

Elemente der Risikobewertung

Unter dem Begriff der Risikobewertung versteht der Beirat ein oder mehrere Verfahren der rationalen Urteilsfindung über ein Risiko in Bezug auf dessen Zumutbarkeit für die Gesellschaft als Ganzes oder bestimmte Gruppen und Individuen (Berg et al., 1995). 3 Fragen sind dazu zu beantworten:

- Soll ein bestimmtes Risiko überhaupt von einer Gesellschaft akzeptiert werden?
- Wieviele Mittel sollen zur Reduzierung oder Steuerung des Risikos ausgegeben werden?
- Welche Instrumente sollen zur Steuerung des Risikos zum Einsatz kommen?

1.2

Bestimmung der Akzeptabilität eines Risikos

Ob ein Risiko unter normativen Gesichtspunkten als akzeptabel oder als nicht akzeptabel eingestuft werden soll, beruht immer auf subjektiven Werten, selbst wenn formale Entscheidungsverfahren zur Anwendung kommen. Die formalen Verfahren der Risikobewertung können helfen, innerhalb eines gegebenen Werterasters kohärente Entscheidungen zu fällen. Sie dienen als Hilfsmittel zur besseren Entscheidungsfindung, sie können aber die Entscheidung selbst niemals ersetzen (Fischhoff et al., 1981).

Risiko-Risiko-Vergleiche

Unter den formalen Abwägungsverfahren zeichnen sich Risikovergleiche dadurch aus, daß sie das beobachtete Verhalten als Maßstab für die Zumutbarkeit von Risiken heranziehen. Hat eine Gesellschaft bereits bestimmte Risiken als akzeptabel eingestuft, dann ist es konsequent zu fordern, daß Handlungsoptionen, die mit geringeren Risiken verbunden sind als die bereits akzeptierten Risiken, auch akzeptiert werden können (Wilson und Crouch, 1987; Merkhof, 1987; Fritzsche, 1986).

Der Gebrauch von Risikovergleichen zur Bestimmung der Akzeptabilität ist allerdings mit einigen Problemen verbunden. Bei den üblichen Risikovergleichen wird die Dimension des Nutzens der riskanten Handlung als *Ceteris-paribus*-Bedingung außer Betracht gelassen (Crouch und Wilson, 1982). So wird z. B. beim Vergleich von Kohlestrom mit Atomstrom unterstellt, daß der Nutzen der elektrischen Energieeinheit in beiden Fällen für den Verbraucher gleich ist. Dies mag für elektrischen Strom plausibel sein; nimmt man aber rationelle Energieverwendung als zusätzliche Alternative auf, so mögen Verbraucher durchaus unterschiedliche Präferenzen für den gleichen Nutzwert haben, also nicht indifferent sein gegenüber den verschiedenen Mitteln, um eine identische Energiedienstleistung bereitzustellen. Wird ein Risikovergleich zum Zweck der Prüfung der Möglichkeiten der Risikoreduzierung vorgenommen, sind die *Kosten* der Reduzierung für die zur Debatte stehende Handlung mit zu berücksichtigen. Außerdem bezieht sich ein Risikovergleich häufig nur auf den Erwartungswert der zu vergleichenden Risiken. Eine solche Beschränkung auf den durchschnittlich zu erwartenden Schaden ist jedoch problematisch, wenn die Vertrauensintervalle der Risikoschätzungen sowie verbleibende Ungewißheiten (Kap. C) zwischen den zum Vergleich anstehenden Risiken streuen oder wenn die zeitliche Folge des Schadeneintritts bei der Beurteilung eine Rolle spielt (unterschiedliche Gefährdungspotentiale bei gleichem Erwartungswert).

Deswegen sind Risikovergleiche v. a. bei den Risiken im Normalbereich und möglicherweise auch bei den Risikotypen mit hoher Abschätzungssicherheit (Damokles oder Medusa) angebracht, nicht aber für Risiken, bei denen hohe Ungewißheit oder statistische Unsicherheiten vorherrschen (Zyklop, Pythia, Pandora). Im letzteren Fall müssen Erwartungswerte und Verteilungsparameter als mehrdimensionale Bewertungen in die Entscheidung eingehen (Merkhofer, 1987; Femers und Jungermann, 1991; Akademie der Wissenschaften, 1992).

Aufgrund dieser Einschränkungen können Risikovergleiche nicht als alleinige Gradmesser der Be-

wertung von neuen Risiken dienen, besonders dann nicht, wenn hohe Unsicherheiten über Schadensfolgen bestehen (Fritzsche, 1986; Wilson und Crouch, 1987; Merkhofer, 1987). Andere Dimensionen, wie Nutzen, Verteilungswirkungen, Kosteneffizienz der Risikoreduktion und andere relevante Kriterien müssen stets im Entscheidungsprozeß mit berücksichtigt werden. Allerdings kommt Risikovergleichen eine wichtige *Orientierungsaufgabe* zu. In der Kommunikation mit Entscheidungsträgern oder in der öffentlichen Diskussion sind Risikoabschätzungen häufig schwer vermittelbar (Kap. F 7). Dagegen kann der Vergleich mit bekannten Risiken das Ausmaß der Gefährdung durch eine noch unbekannt Risikoquelle illustrieren, ohne dabei die normative Frage der Akzeptabilität zu beantworten (Covello, 1991; Fermers und Jungermann, 1991)

Kosten-Nutzen-Analyse

Die Kosten-Nutzen-Analyse besteht in einer expliziten Abwägung der Kosten und des Nutzens verschiedener Handlungsoptionen durch die Gegenüberstellung und Quantifizierung von Chancen und Risiken. Bei der Kosten-Nutzen-Analyse wird dieser Vergleich aufgrund einer durchgängigen Monetarisierung aller Nutzen- und Kostenkategorien durchgeführt (Fischhoff et al., 1985). Der Nutzen unterschiedlicher Handlungsoptionen wird mit Hilfe verschiedener Methoden (Schattenpreise, willingness to pay, Preis-Standard-Ansatz) in Geldeinheiten übersetzt; das gleiche geschieht mit dem Aufwand (Kosten, organisatorischer Aufwand, Konfliktkosten, Kosten für Entscheidungsfindung usw.). Die Beurteilung von Risiken wird danach aufgrund einer einfachen Rechnung möglich. Kann das Risiko kontinuierlich reduziert werden, dann ist *das* Reduktionsniveau zu wählen, bei dem die Gesamtkostenfunktion (Summe von Aufwandskosten und Kosten durch das verbleibende Risiko) ein Minimum aufweist. Ist eine solche kontinuierliche Reduzierung nicht möglich, dann ist diejenige Option zu wählen, bei der die Differenz zwischen Nutzen und Kosten am größten ist (Fischer, 1973; Hansmeyer und Rürup, 1975).

Die Attraktivität der Kosten-Nutzen-Analyse beruht u. a. darin, daß die Beurteilung von Risiken sich an Marktpreisen orientieren kann, die direkt den sozialen Nutzen widerspiegeln können. So können die Kosten für Risiken in die Versicherungsprämien eingehen, während die erwartbaren Gewinne aus Chancen in die Aktienpreise oder in die Bereitstellung von Venture Capital einfließen. Schwierigkeiten bereitet allerdings die Einbeziehung externer Effekte und die Bewertung kollektiver Güter. Hier müssen Schattenpreise, die den Marktwert simulieren, indirekt erschlossen werden. Obwohl dazu wissenschaftliche Verfahren entwickelt worden sind, ist die Variations-

breite solcher Verfahren recht groß, so daß es in vielen Fällen zu keinen eindeutigen Ergebnissen kommt (Harvey, 1985; Fischhoff et al., 1985). Eine zusätzliche Schwierigkeit stellt die Frage nach der Diskontierung solcher Preise über die Zeit dar (Hansmeyer und Rürup, 1975; Smith, 1986). Während für Marktpreise die marktübliche Zinsrate übernommen wird, ist bei der Monetarisierung externer Effekte, v. a. solcher nicht-materieller Natur, die Wahl des Diskontsatzes schwer zu begründen. Während es sinnvoll ist, den erst in einer fernen Zukunft zu erwartenden Gewinn mit einer negativen Zinsrate zu versehen, so ist wenig plausibel, das Opfer eines künftigen Schadenseintritts als weniger „wertvoll“ einzuschätzen als das Opfer einer gegenwärtigen Belastung.

Vor allem in Bezug auf Risiken für Gesundheit und Umwelt sind die beiden genannten Probleme besonders augenfällig. Welcher Geldwert entspricht einem x%igen Anstieg des Risikos, durch Krebs ums Leben zu kommen? Wie ändert sich dieser Geldwert, wenn der Schadensfall erst in 20 Jahren eintritt? (Baran, 1980; Kelman, 1981). Trotz dieser Probleme erfüllt die Kosten-Nutzen-Analyse in Wirtschaft, Politik und in Gerichtsverfahren eine wichtige Funktion, v. a., wenn es darum geht, unabhängig von den subjektiven Präferenzen der Mitglieder einer Gesellschaft die einer Volkswirtschaft entstehenden Kosten mit dem Nutzen zu vergleichen. Indirekte Indikatoren wie Preise für zusätzliche Versicherungen oder Kosten für die Wiederherstellung der Gesundheit können helfen, brauchbare Annäherungen an die monetären Ausgaben und Einnahmen zu liefern, die als Folge eines Umweltstandards real zu erwarten sind (Fischer, 1973). So kann beispielsweise der Schaden, der durch sauren Regen entsteht, durch Verluste im Holzgeschäft und in der Touristikbranche operationalisiert werden (Wicke, 1990). Der ästhetische und ökologische Schaden bleibt jedoch in einer solchen Betrachtung unberücksichtigt.

Entscheidungsanalyse

Bei vielen kollektiven Bewertungsproblemen bedient man sich in Politik und Wirtschaft des Instrumentariums der formalen Entscheidungsanalyse (Entscheidungslogik): insbesondere in Ökonomie, Soziologie und philosophischer Ethik ist dieses Instrumentarium in den letzten Jahren für die verschiedenen Anforderungen der jeweiligen wissenschaftlichen Fragestellungen erweitert und verfeinert worden (Edwards, 1954; Gäfgen, 1963; Raiffa, 1973; von Winterfeldt und Edwards, 1986; Jungermann et al., 1998).

Die Verfahren der formalen Entscheidungsanalyse beruhen auf der subjektiven Bewertung der jeweils zu erwartenden Handlungsfolgen. Dabei wer-

den die jeweiligen Folgen und deren Wahrscheinlichkeiten des Eintreffens bestimmt und danach in subjektive Nutzenwerte übersetzt. Der Gesamtnutzen ergibt sich aus der Verknüpfung der gewichteten Einzelnutzen. Der besondere Vorteil der Entscheidungsanalyse besteht darin, daß bei gegebenen Zielen und Wissen eine gemäß subjektiven Präferenzen optimale Auswahl zu verschiedenen Handlungsoptionen getroffen werden kann. Darüber hinaus wird durch die Offenlegung von Zieldimensionen, Zielbewertungen und Gewichtungen die Transparenz des Entscheidungsprozesses vor der Öffentlichkeit verbessert und damit ein wichtiger Beitrag zur Rechtfertigung von risikopolitischen Maßnahmen geleistet.

Die Entscheidungsanalyse hat aber auch ihre Begrenzungen: Durch die Notwendigkeit der Einbringung subjektiver Präferenzen muß die Wahl der Gewichtungen der jeweiligen Dimensionen plausibel begründet und politisch legitimiert werden. Die Entscheidungsanalyse liefert keine Rechtfertigung für die Werte, die als Präferenzurteile in die Analyse einfließen. Durch die Aufteilung komplexer Sachverhalte in bearbeitbare Einzelprobleme können bestimmte interaktive Einflüsse vernachlässigt oder holistische Eindrücke ausgeschlossen werden.

Die Entscheidungsanalyse kann nur kohärente Schlüsse aus den Informationen anbieten, die der Entscheidungsträger durch seine Präferenzen und seinen Wissensstand vorgibt. Sie bietet demgemäß lediglich einen formalen Rahmen, der wirksam wird, wenn neue Informationen, Zielkorrekturen und insbesondere im Gruppenentscheidungsprozeß Verhandlungen und Beratungen in diese Analyse mit einbezogen werden (Raiffa, 1973; Edwards, 1977). Die Möglichkeit zur Korrektur z. B. von Zielvorstellungen oder Bewertungsmaßstäben, d. h. die Möglichkeit des Einspruchs der Entscheidungsträger oder der von der Entscheidung Betroffenen, wird gerade durch die transparente Darstellung des Entscheidungsprozesses erleichtert und begründet damit die Überlegenheit solcher Verfahren gegenüber holistischen Urteilen und bloßen Additionen von Einzelentscheidungen.

Zur Beurteilung von Risiken sind entscheidungsanalytische Verfahren besonders geeignet, weil sie explizit Risiken und Nutzen gegenüberstellen und die Präferenzen des Entscheidungsträgers als Wertmaßstab zur Beurteilung der relativen Gewichte für jede Nutzen- und Schadenskategorie heranziehen (Fischhoff et al., 1981). Darüber hinaus bietet der in der Entscheidungsanalyse favorisierte Bayesianische Ansatz von Wahrscheinlichkeit die Möglichkeit, alle denkbaren Folgen mit numerischen Wahrscheinlichkeiten zu versehen und damit vergleichbar zu machen.

Risikobewertung nach dem Vorsorgeprinzip
Die 3 bisher behandelten Verfahren gingen von der Unterstellung aus, daß die zu beurteilenden Handlungen hinsichtlich ihrer Wirkungen bekannt sind, so daß das Eintreten von Schäden sowohl im Ausmaß als auch in der relativen Häufigkeit des Auftretens spezifiziert werden kann. Die Konsequenzen einer Handlung werden dabei zur Beurteilung ihrer Wünschbarkeit herangezogen. Eine derartige Verfahrensweise ist nicht mehr möglich, wenn man über die Folgen einer zur Debatte stehenden Handlung nichts weiß bzw. hohe Ungewißheit vorherrscht. Diese Situation war v. a. bei den Risikotypen Pythia, Zyklop und Pandora gegeben.

Eine Lösung des Problems der Ungewißheit bzw. hohen Unsicherheit scheint darin zu liegen, eine generelle Minimierung der Handlungsfolgen überhaupt zu fordern. Diesem Weg hat die Bundesrepublik Deutschland innerhalb des Umweltrechts in Gestalt des Vorsorgeprinzips besondere Geltung eingeräumt (Rehbinder, 1976; Hartkopf und Boehme, 1983). Grundsätzlich sollen danach Emissionen auch dann vermieden oder reduziert werden, wenn negative Wirkungen aufgrund fehlender wissenschaftlicher Erkenntnisse nicht bekannt sind, sie aber auch nicht ausgeschlossen werden können. Dieses Gebot gilt im Rahmen der Risikotypologie des Beirats vorrangig für Risiken des Typs Pandora, weil dort hohe Ubiquität (weltweite Ausbreitung) und hohe Persistenz (lange Zeitdauer der Wirksamkeit) zusammenfallen. Das Gebot der Vorsorge gegen noch unbekannte Wirkungen von Emissionen wird nach 2 unterschiedlichen Prinzipien zur Geltung gebracht:

- Das Prinzip der geringst möglichen Emission (im englischen Sprachraum als *ALARA-Prinzip* bekannt; as low as reasonably achievable): Nach diesem Grundsatz muß jede Emission so weit wie möglich reduziert werden, wobei die Grenze der Möglichkeit bei dem gerade noch wirtschaftlich und sozial vertretbaren Aufwand zur Reduzierung liegt. Die genaue Definition dieses Reduktionsniveaus ist eine Ermessensfrage. In Deutschland wird wie in vielen anderen Ländern das ALARA-Prinzip, z. B. im Strahlenschutz angewandt. Jede Belastung durch ionisierende Strahlung soll – wenn irgendwie technisch und wirtschaftlich vertretbar – auf ein Mindestmaß weit unterhalb des erlaubten Grenzwerts reduziert werden.
- Der *Stand der Technik*: Nach diesem Grundsatz muß jede Emission unterbleiben, die mit einer auf dem Markt vorhandenen und erprobten Rückhaltetechnik vermieden werden könnte. Eine Variante dieser Forderung ist der im deutschen Atomgesetz verankerte „Stand der Wissenschaft und Technik“ wobei auch neue aus der Wissenschaft stammende Konzepte zur Rückhaltung von

Schadstoffen oder zur Verbesserung technischer Sicherheit verwirklicht werden müssen, selbst wenn sie noch nicht technisch erprobt sind.

Die Anwendung beider Prinzipien führt leicht zu suboptimalen Lösungen, da Aufwand und Nutzen nicht systematisch miteinander verglichen werden (Rowe, 1979; Akademie der Wissenschaften, 1992). Theoretisch kann bei Anwendung des Grundsatzes vom Stand der Technik ein potentiell gefährlicher Schadstoff in großen Mengen emittiert werden, sofern auf dem Markt eine entsprechende Rückhalte-Technologie nicht verfügbar ist. Ebenso möglich ist der umgekehrte Fall, daß wertvolle wirtschaftliche Ressourcen für die Reduzierung eines völlig ungefährlichen Stoffs oder für die Reduzierung eines Schadstoffs weit unterhalb des Schwellenwerts verwandt werden, nur weil es genügend Techniken gibt, die eine substantielle Reduzierung erlauben. Bei der Diffusion neuer Technologien sind die Risiken im Anfangsstadium der Entwicklung häufig größer als die späteren Risiken im Reifestadium. Somit mögen neue Techniken langfristig eine Risikoreduzierung versprechen, können jedoch nach dem Stand der Technik nicht eingeführt werden, weil die alten bereits ausgereiften Technologien geringere Risiken bieten als die neuen Techniken im Anfangsstadium ihrer Entwicklung.

Ähnliches gilt auch für das ALARA-Prinzip: Wann eine Reduzierung nicht mehr vernünftigerweise vertretbar ist (unbestimmtes Rechtsprinzip), ergibt sich entweder aus einer formalen Analyse der systematischen Abwägung von Nutzen und Risiken oder als Resultat eines abwägenden Urteils. Vor allem besteht das Problem darin, daß das Minimierungsgebot mit Kosten verbunden sein kann, die in keinem vernünftigen Verhältnis zur Risikoreduktion liegen. Verhindert die Anwendung des ALARA-Prinzips technische Optionen, die erst in Zukunft ihre risikominimierende Funktion erfüllen können, so ist das Postulat der zeitlichen Verteilungsgerechtigkeit verletzt. Im Einzelfall mag dies sinnvoll und gerechtfertigt sein, aber die Anwendung des ALARA-Prinzips macht eine solche Verletzung nicht explizit und verhindert eine systematische Abwägung dieser Verletzung mit dem Nutzengewinn auf einer anderen Zieldimension, nämlich der vorübergehenden Risikominderung.

Diese Schwierigkeiten zeigen, daß die Anwendung des Vorsorgeprinzips nur sinnvoll ist, wenn eine der 3 folgenden Voraussetzungen gegeben ist (Fritzsche, 1986):

1. Es sind die Wirkungen der jeweiligen Schadstoffe nicht oder sehr wenig bekannt, aber es ist zu vermuten, daß sich schädliche Wirkungen langfristig einstellen (Einordnung in den Risikotyp Pythia, Pandora oder Zyklop).

2. Der Aufwand zur Rückhaltung von Schadstoffen variiert erheblich von Situation zu Situation, so daß man mit Hilfe des ALARA-Prinzips flexibel reagieren, d. h. den Aufwand zur Reduzierung mit berücksichtigen kann. Allerdings muß die Festlegung des vernünftig Vertretbaren nach systematischer Abwägung zustande gekommen sein (Einordnung in den Typ Damokles oder Cassandra).
3. Die Forderung nach der Erfüllung des Stands der Technik erfolgt zusätzlich zur rationalen Festlegung von Standards, um eine Reduzierung von Schadstoffen auch dann vorzunehmen, wenn sie von der Wirkung her nicht unbedingt geboten erscheint, aber sie technisch und finanziell tragbar ist (Einordnung in den Typ Damokles oder Medusa).

Als Fazit bleibt festzustellen, daß die Prinzipien der Vorsorge v. a. dann gelten sollen, wenn über die möglichen Konsequenzen einer Handlung weitgehend Unwissenheit herrscht. Ist diese Voraussetzung nicht gegeben, dann können sie als zusätzliche Anreize zur Risikoreduktion dienen, führen aber notwendigerweise zur suboptimalen Verwendung gesellschaftlicher Ressourcen. Eine solche Abweichung vom optimalen Modell kann durchaus gerechtfertigt werden, wenn nicht wirkungsbezogene Kriterien in den Katalog der Zielvorgaben aufgenommen werden.

Risikobewertung nach Risikotypen

Keines der hier aufgeführten Verfahren der Risikobewertung kann vollständig überzeugen. In jedem Fall sind politische Urteile über die Zumutbarkeit von Risiken erforderlich. Dies ist im besonderen Maß problematisch, wenn Risiken über Nationengrenzen hinweg wirksam sind und gleichzeitig unterschiedliche Risikostrategien in den einzelnen Ländern eingesetzt werden. Aus diesem Grund ist der Beirat der Meinung, daß es wenig Sinn macht, eine einzige Form der Risikobewertung für die Beurteilung von globalen Risiken zu empfehlen. Vielmehr sieht der Beirat in Anlehnung an Kap. C folgenden Ablauf des Bewertungsprozesses vor:

Zunächst ist zu klären, ob genügend Wissen um ein Risiko vorliegt, um es bewerten zu können. Ist die Wissensbasis gering, dann sind die Strategien zu wählen, die in Kap. G ausführlich erörtert werden (Vorsorge- und Resilienzstrategien). Ist die Wissensbasis gut genug, um eine Aufteilung nach Risikotypen vorzunehmen, ist nach den folgenden Schritten vorzugehen.

- Die zur Bewertung stehenden Risiken werden auf die 3 Risikobereiche (Normalbereich, Grenzbereich und Verbotsbereich) aufgeteilt. Nach welchen Kriterien dies erfolgen soll, ist in den Kap. B und C ausführlich erörtert.
- Fällt ein Risiko in den Normalbereich, dann sollte

eine Kosten-Nutzen-Analyse im Rahmen betriebswirtschaftlicher oder beim Vorliegen von relevanten externen Effekten unter Einbezug volkswirtschaftlicher Kosten und Nutzen vorgenommen werden. Bei nutzengleichen Optionen ist auch eine Bewertung nach dem einfachen Verfahren des Risiko-Risiko-Vergleichs angebracht. Darüber hinaus sollten Motivationsanreize für eine umfassende und effiziente Abwägung von Nutzen und Risiken sowie weitere finanzielle Anreize zur Risikoreduktion durch marktwirtschaftliche Instrumente erfolgen (Haftung, Versicherung usw.).

- Fällt ein Risiko in den intolerablen Bereich, dann ist diesem Risiko in der Regel mit einem unbedingten Reduzierungsgebot zu begegnen. Im Notfall muß die Aktivität verboten werden. Nur in Ausnahmefällen kann ein solches Risiko akzeptiert werden, und zwar dann, wenn ein so hoher Nutzenzuwachs zu erwarten ist, daß selbst ein normalerweise intolerables Risiko dafür in Kauf genommen werden kann. In diesem Fall ist ein politischer Abklärungsprozeß mit diskursiven Elementen zu empfehlen.
- Fällt ein Risiko in den Grenzbereich, dann ist zunächst einmal die Zuordnung des jeweiligen Risikos nach Risikotyp vorzunehmen. Risiken im Grenzbereich sind dann akzeptabel, wenn es gelingt, die kritischen Elemente des jeweiligen Typs durch entsprechende Maßnahmen zu überwinden oder zu begrenzen. Dazu wurden in Kap. A und C konkrete Vorschläge ausgearbeitet.
- Sofern durch entsprechende Maßnahmen eine Überführung eines Risikos aus dem Grenzbereich in den Normalbereich gelingt, können wieder die herkömmlichen Verfahren der Abwägung (Kosten-Nutzen-Analysen, Risikovergleiche, Entscheidungsanalysen) zur Anwendung kommen. Gelingt dies nicht, sind politische Entscheidungen zu treffen, ob angesichts des Nutzens eine Ausnahme gewährt werden soll. Dies muß aber plausibel und nachvollziehbar begründet sein.

Die vom Beirat entwickelte Vorgehensweise hat den Vorteil, daß keine pauschalen Bewertungsverfahren zum Zug kommen, sondern daß risikotypenspezifische Verfahrensweisen eine den Umständen angemessene Beurteilung von Risiken erlauben.

1.3

Verfahren der Allokation von Ressourcen zur Risikoreduktion

Nach der Bewertung der Risiken erfolgt die Analyse des akzeptablen Kostenrahmens zur weiteren Reduzierung des Risikos. Dafür wird in der Regel das Ver-

fahren der Kosteneffizienz angewandt. Nach dem Kosteneffizienzverfahren werden Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit danach beurteilt, wieviele knappe Ressourcen zur Verminderung eines gegebenen Risikos eingesetzt werden müssen. Die Regel lautet dabei beispielsweise, daß für jede Mark, die zur Reduzierung eines Risikos ausgegeben wird, eine optimale Ausnutzung des Reduktionspotentials vorgenommen werden muß (Merkhofer, 1984; Fritzsche, 1986). In einem Optimierungsverfahren werden für alle in Betracht zu ziehenden Risiken die marginalen Kosten pro Nutzeneinheit (z. B. gerettetes Menschenleben, Verhinderung einer Krebserkrankung, Rettung eines Biotops) ermittelt und das Budget, das für die Risikoverminderung eingesetzt werden soll, so auf die Risikoquellen verteilt, daß insgesamt der größte Nutzeneffekt eintritt (Smith, 1986). Dieses Verfahren beruht auf der Annahme, daß die Risiken, die aufgrund der Optimierungsüberlegung verbleiben, akzeptabel sind. Dieser Akzeptabilitätsanspruch kann aber durch das Kosteneffizienzverfahren nicht erbracht werden. Vielmehr muß die Akzeptabilität der verbleibenden Risiken durch eines der in Kap. E 1 beschriebenen formalen Verfahren oder durch politische Beratungen beurteilt werden.

Durch das Verfahren der Kosteneffizienz bei Risikoreduktionen wird eine Reihe von Schwierigkeiten bearbeitbar, die bei der Beurteilung von Risiken auftreten (Shrader-Frechette, 1984) :

- In diesem Konzept kann mit dem Wert von Menschenleben gerechnet werden, ohne daß ein Menschenleben durch einen anderen, z. B. monetären Wert ersetzt werden muß.
- Werte erhalten jeweils die gleiche Gewichtung; so gilt Menschenleben gleich Menschenleben. Das Verfahren läßt sich somit mit egalitären Vorstellungen, z. B. Gleichverteilung von Risiken, leicht in Einklang bringen.
- Jede Abweichung von der kosteneffizienten Lösung würde eine Erhöhung des Schadens bedeuten. Entscheidungsträger geraten somit unter Legitimationsdruck, wenn sie nicht die kosteneffiziente Lösung verwirklichen, da sie ja beispielsweise mehr Menschenleben zu opfern bereit wären als man durch die optimale Lösung in Kauf nehmen müßte.

Das Verfahren der Kosteneffizienz hängt allerdings von Annahmen und Unterstellungen ab, die seinen Einsatz auf bestimmte Problemlassen beschränken (Morgan, 1990). Zunächst ist unterstellt, daß das Budget zur Risikoverminderung eine konstante Größe darstellt. Tatsächlich kann eine Gesellschaft festlegen, welchen Betrag sie überhaupt für die Risikoreduzierung zur Verfügung stellen möchte. Über den Umfang des Sicherheitsbudgets läßt sich nicht wieder nach dem Verfahren der Kosteneffizienz ent-

scheiden, da ein unendlicher Regreß entstände. Das Kosteneffizienzverfahren funktioniert ohne weiteres nur dann, wenn es in einer Schadens- oder Kostendimension durchgeführt wird. Liegen mehrere Dimensionen von Kosten bzw. Schäden vor, was in der Realität meist der Fall ist, müssen die einzelnen Dimensionen zunächst zu einer Größe verschmolzen, d. h. untereinander gewichtet werden. Das Verfahren kann gegenintuitive Ergebnisse erzeugen, wenn die riskanten Handlungen moralisch unterschiedlich bewertet werden (Shrader-Frechette, 1984; Akademie der Wissenschaften, 1992). So macht es in der moralischen Bewertung einen erheblichen Unterschied, ob eine toxische Substanz ohne Einwilligung des Betroffenen und ohne Nutzen für den Risikoträger in die Luft emittiert wird, ob die gleiche Substanz im Rahmen eines einvernehmlich geschlossenen Arbeitsvertrags auftritt oder ob sie als Mittel zum Selbstmord eingesetzt wird.

1.4

Instrumente der Risikosteuerung

Ist die Frage nach der Akzeptabilität eines Risikos zufriedenstellend beantwortet worden und sind die Kosten zur Risikoreduktion effizient verteilt worden, dann stellt sich die Frage nach dem Risikomanagement, d. h. v. a. danach, mit welchen Mitteln die gebotene Risikoreduktion vorgenommen werden soll. Die wichtigsten Instrumente, die im Rahmen der Risikoregulierung diskutiert werden, lassen sich wie folgt einteilen (Renn, 1996):

- Ordnungsrechtliche Verbote, Grenzwerte, technische Anleitungen und Verfahrensvorschriften sind regulative Instrumente. Sie werden von staatlicher Seite aus erlassen und schreiben bestimmte Verhaltensweisen verbindlich vor. Bei Nichteinhaltung stehen Sanktionsmaßnahmen zur Verfügung. Auch das Haftungsrecht gehört in diese Instrumentengruppe.
- Beim planenden Umweltschutz werden Aktivitäten und Handlungen systematisch und gezielt so vorbereitet, daß bestimmte gesteckte Ziele erreicht werden können. Planerische Instrumente können sich auf bestimmte abgesteckte Gebiete und Landschaften beziehen oder raumübergreifend auf einzelne Aufgaben- und Problemfelder ausgerichtet sein. Der Staat oder private Organisationen versuchen in ihrem Kompetenzbereich die Ziele der Risikopolitik durchzusetzen. Wichtige risikobezogene Planungen sind die Landschaftsplanung, die Luftreinhalteplanung, die wasserwirtschaftliche Planung und die Abfallentsorgungsplanung. Belange der Risikovorsorge gehen auch in die Verkehrs-, Energie- und Ressourcen-

planung, die Flurbereinigungsplanung und die forstliche Rahmenplanung ein (Brösse, 1995).

- Marktwirtschaftliche Instrumente wie Versicherungsprämien und Industriefonds sind dezentral wirkende Anreizsysteme, um Risiken zu begrenzen oder sie sogar zu vermeiden. Sofern die Bedingungen für ihre Wirksamkeit vorliegen, versprechen sie eine effektive Begrenzung sowie einen effizienten Umgang mit Risiken. Umweltsteuern und -abgaben, Zertifikate sowie Subventionen und andere Finanzhilfen stellen darauf ab, wirtschaftliche Anreize so zu setzen, daß Risiken reduziert oder zumindest effizient geregelt werden. Die Veränderung der Preise für riskantes oder innovatives Handeln spielt bei diesen anreizorientierten Instrumenten eine zentrale Rolle.
- Partizipative und kooperative Instrumente binden staatliche und nichtstaatliche Akteure in einen Prozeß der Entscheidungsfindung ein, der konsensorientiert ist. Runde Tische, Mediationsverfahren und kooperative Diskurse sind Beispiele für kommunikative Problemlösungen (Renn und Oppermann, 1995). Die Ergebnisse werden von den Beteiligten freiwillig getragen und umgesetzt. Umweltpolitische Kooperation findet im Rahmen von Selbstregulierungen und freiwilligen Verpflichtungen der Industrie statt.
- Umwelterziehung, Umweltbildung und Umweltaufklärung sind informativ-erzieherische Instrumente. Sie zielen auf die Schaffung von Risikobewußtsein ab und beeinflussen das Verhalten von Risikoerzeugern und -trägern indirekt (WBGU, 1993).

Für den Umgang mit globalen Risiken lassen sich diese Instrumente noch weiter spezifizieren. In Tab. F 1.4-1 sind die in den folgenden Unterkapiteln detailliert beschriebenen Instrumente systematisch aufgelistet. Darüber hinaus gibt die Tabelle an, welche Zielgruppe mit den jeweiligen Instrumenten vorrangig angesprochen werden soll. Jeder Instrumententyp ist dann in den Kap. F 2 bis F 7 ausführlich beschrieben und bewertet worden, ehe dann in Kap. H 2.1 die einzelnen Instrumente den Risikotypen zugeordnet werden.

Instrumente	Zielgruppe		
	Individuen/ Haushalte	Organisationen NRO, Unternehmen	Internationale Ebene
Haftung	Versicherungspflicht, Kausalhaftung (probabilistisch)	Gefährdungshaftung (mit Innovationsvorbehalt), Verschuldungshaftung	Haftungskonsens
Fonds		Fondslösung	Internationale Fonds
Ordnungsrecht	Verbote, Konsumstandards	Standards (Emission usw.)	Internationale Standards
Genehmigung		Prototypische Genehmigungsverfahren	Internationale Verfahrensstandards
Anreize	Abgaben beim Konsum	Abgaben Zertifikate	Harmonisierung der internationalen Abgabepolitik Zertifikate, Joint Implementation
Institutionelle Maßnahmen	Fürsorgepflicht (Drogen, usw.)	Capacity Building, Notfallplanung, Risikomanagement bei Entwicklungshilfe, Technology and Management Transfer	Risk Management- Einsatztruppe, (UN) Risk Assessment Panel
Information und Kommunikation	Aufklärung, Partizipation, Empowerment	Bildung, Ausbildung, Mediation, Code of Conduct, Selbstverpflichtung	Prior Informed Consent, Vernetzung
Forschung	Risikoerfassung (Register)	Vernetzung, Ersatzstoffe	Frühwarnsysteme
Technische Maßnahmen	Indirekter Schutz (Jodtabletten)	Resilienzstrategien, Substitution	Resilienzstrategien, Substitution

Tabelle F 1.4-1
Instrumente der
Risikopolitik (Übersicht).
Quelle: WBGU

2 Haftung

Verwirklicht sich der in einem Risiko angelegt Schaden, so soll die Haftung dem Geschädigten dazu verhelfen, Ausgleich für den entstandenen Schaden beim Verursacher einfordern zu können (nachsorgende Ausgleichfunktion). Darüber hinaus wird der riskant Handelnde durch die Einstandspflicht für die möglichen negativen Folgen seiner Aktivität verantwortlich gemacht. Vorsorge- und Sicherheitsmaßnahmen werden somit durch Internalisierung des Schadens beim Verursacher zum finanziellen Eigeninteresse (Schadensprävention). Die Präventionsfunktion ist unter 2 Blickwinkeln zu betrachten: Einerseits setzt die Haftung (Verschuldens- und Gefährdungshaftung) Anreize für einen Schädiger, vorhandenes Wissen um Vorsorgemöglichkeiten und mögliche Schadeffekte zu nutzen, andererseits gehen von ihr, insbesondere in Form der Gefährdungshaftung, aber auch Anreize aus, neues Wissen um Vorsorgemöglichkeiten und bisher unbekannte Schadeffekte zu generieren, weil der Schädiger so seine Kosten reduzieren kann. Wird dieses Wissen im Lauf der Zeit an Dritte gezielt weitergegeben oder sickert es durch, profitiert davon letztlich die gesamte Gesellschaft. Unter Effizienzgesichtspunkten steht die Präventionsfunktion der Haftung im Vordergrund: Eintrittswahrscheinlichkeiten von Schäden werden reduziert und erwartete Schadenshöhen begrenzt. Vorsorgemaßnahmen werden im Idealfall solange durchgeführt, bis die zusätzlichen Kosten den zusätzlich reduzierten erwarteten Schäden entsprechen.

Man unterscheidet zwischen der Haftung des hoheitlich handelnden Staats nach Normen des Staatshaftungsrechts und der völkerrechtlichen Staatenverantwortlichkeit einerseits sowie der Haftung des einzelnen nach nationalen und internationalen Haftungsregeln andererseits. Als letztes seien noch die Ansprüche des Staats gegen Private genannt (z. B. im Wege der Ersatzvornahme). Risiken werden primär durch die Aktivitäten Privater verursacht. Deshalb ist im Hinblick auf die Schadensverhütung zunächst die privatrechtliche Haftung einzusetzen und die Haftung des Staats für hoheitliches Handeln zurückzustellen, da hier eine verursacherorientierte Finanzierung nicht möglich ist (Rehbinder, 1992a).

2.1 Struktur der privatrechtlichen Haftung

Nicht zuletzt unter dem Eindruck spektakulärer Industrieunfälle wie Sandoz (1986), „Exxon Valdez“ (1989) und Bhopal (1984) hat die privatrechtliche Haftung Eingang in das Instrumentarium des nationalen und internationalen Umweltrechts gefunden. In welchem Maß eine Haftung Anreize zur Schadensprävention schaffen kann, hängt maßgeblich von ihrer möglichst sachgerechten Ausgestaltung aber auch von den zu erfassenden Risiken ab (Kap. F 1). Ausgleichs- und Präventionsfunktion stehen dabei grundsätzlich nicht in Konkurrenz (Endres, 1992). Die nützliche Prävention verkehrt sich allerdings in Abschreckung, wenn aus Opferschutzgründen die Haftung unverhältnismäßig zu Lasten der möglichen Verursacher geht. Die Effektivität eines Haftungsanspruchs bestimmt sich danach, ob er die Schäden angemessen zu erfassen vermag und dabei durchsetzungsfreundlich gestaltet ist.

2.1.1 „Ökologische Schäden“ als Schadenskategorie

Die zivilrechtliche Haftung ist auf den Individualrechtsgüterschutz ausgerichtet. Sofern sich eine Umweltbeeinträchtigung nicht vollständig in die Verletzung von individuellen Rechtsgütern parzellieren läßt, entstehen Haftungslücken, da die Umwelt gerade kein individuell geschütztes Rechtsgut darstellt. Aber auch in dem Fall, daß eine Umweltzerstörung sich vollständig als Verletzung von Individualrechtsgütern darstellen läßt, werden die ökologischen Schäden vom Haftungsrecht nur unvollkommen wahrgenommen (Friehe, 1992). Ein praktisch relevanter Fall wäre z. B. die Verschmutzung eines Grundstücks, das neben seiner (erfaßten) Bedeutung für den Eigentümer eine (nichterfaßte) Funktion für den über das Grundstück hinausgehenden Naturhaushalt besitzt. Hier besteht nach wie vor Regelungs- und Definitionsbedarf (Brüggemeier, 1989).

Die Forschung hat dieses Thema in letzter Zeit intensiv aufgegriffen: Rechtspolitische Vorschläge (Godt, 1997) zur Erfassung der Umwelt als Rechtsgut reichen von Forderungen nach einer weitherzigen Auslegung des Eigentumsrechts, über die These, daß bei bestimmten Umweltschädigungen eine Verletzung des allgemeinen Persönlichkeitsrechts als „sonstiges Recht“ im Sinn von § 823 I BGB vorliegt, bis hin zur weitgehenden Forderung nach Eigenrechten der Natur.

Gesetzliche Maßnahmen wie § 22 WHG zeigen, daß bestehende Haftungslücken, wie bei den nicht eigentumsfähigen Gewässern und dem Grundwasser, z. T. bereits geschlossen werden können. Davon zu unterscheiden sind Ansätze zur umfassenden Erfassung von Umweltschäden. In den USA werden Umweltschäden, unabhängig von Individualrechten, als „natural resources damages“ erfaßt, und in Italien wurde im Umweltgesetz von 1986 die Umwelt zum geschützten Rechtsgut erhoben (Seibt, 1994; Kadner, 1995). In beiden Fällen ist als Anspruchsberechtigter, mangels individueller Zuordnungsfähigkeit, der Staat ausgewiesen. Denkbar wäre grundsätzlich auch die Ausweisung von Verbänden als Anspruchsberechtigte (Kadner, 1995). In Deutschland wurde bereits vor Jahren die Möglichkeit einer Treuhänderschaft der öffentlichen Hand über die Natur diskutiert (Rehbinder, 1988). § 3 des Diskussionsentwurfs eines Gentechnikhaftungsgesetzes des österreichischen BMJ vom 12.6.1997 sieht eine Ersatzpflicht für Umweltbeeinträchtigungen vor. Nach Kletecka (1997) sollen dadurch „Ökoschäden“ erfaßt werden. Mithin hat die Erfassung von ökologischen Schäden auch in der rechtspolitischen Diskussion in Österreich Einzug gehalten. Es sollen sich diejenigen auf den Anspruch berufen können, die die Kosten für die Behebung der Schäden getragen haben (Kletecka, 1997).

Die bei der Erfassung von ökologischen Schäden auftretenden Probleme sollten im Hinblick auf die Nutzbarmachung der präventiven Funktion der Haftung nicht überbewertet werden. Allein die Erfassung von Individualrechten macht die Haftung schon zu einem scharfen Schwert, das die Verursacher von Umweltverschmutzungen zur Mobilisierung ihres Wissens und Kapitals zur Risikominimierung veranlassen kann. Mit Hinblick auf die Präventionsfunktion der Haftung ist es auch gleichgültig, daß es dem Geschädigten grundsätzlich frei steht, den Schaden zu liquidieren. So kann ein Obstbauer, der Ersatz für den beschädigten Obstgarten erhielt, den Geldbetrag durchaus dazu nutzen, den Garten in eine Motor-Cross-Strecke umzuwandeln. Mit Hinblick auf die Ausgleichsfunktion der Haftung ist dies natürlich ein unerwünschtes Vorgehen. Hier fallen Ausgleichs- und Präventionsfunktion auseinander.

2.1.2

Fälle, in denen der Kausalitätsnachweis schwerfällt oder unmöglich ist

Gravierendere Schwierigkeiten können sich aber bei der verursachergerechten Zuordnung von Umweltschäden ergeben. Der Kausalitätsnachweis bei Umweltschäden, die sich als Allmählichkeits-, Summations- oder Distanzschäden darstellen, ist das Kardinalproblem bei der Anwendung der Haftung (Herbst, 1996; Salje, 1993). Dies kann z. B. darauf beruhen, daß eine nicht mehr zu identifizierende Mehrheit oder sogar eine Allgemeinheit, einen Schaden verursacht (Beispiel: Waldschäden). Die individualorientierte Haftungszurechnung im Privatrecht stößt in diesem Fall auf unüberwindbare Grenzen. Hier kann u. U. an Fondslösungen oder Schadenersatzsysteme unter Einbindung von Umweltgenossenschaften gedacht werden, soweit sich noch ein spezifischer Schädigerkreis identifizieren läßt.

In einigen Fällen kann die Haftung trotz Nachweisschwierigkeiten durch Beweiserleichterungen angewendet werden, etwa durch die Reduzierung des Beweismaßes (z. B. Verzicht auf Vollbeweis und Abstellen auf „überwiegende Wahrscheinlichkeit“) oder durch Verursachungsvermutungen (z. B. § 6 UmweltHG) mit der damit verbundenen Beweislastumkehr (Brüggemeier, 1989). Eine radikalere Lösung stellt die Einführung einer Wahrscheinlichkeitshaftung dar: Dabei wird das herkömmliche deterministische Kausalverständnis weitgehend durch einen probabilistischen Ansatz ersetzt. Zwischen der Reduzierung des Beweismaßes und der Einführung einer Wahrscheinlichkeitshaftung besteht dabei ein fließender Übergang, auch wenn es sich im ersten Fall um ein prozessuales Mittel handelt und im letztgenannten Fall um einen neuen Haftungstyp, der auf einem abweichenden materiellen Kausalitätsmaßstab aufbaut.

Die Haftung darf nicht zur bloßen Verdachtshaftung werden. In den Fällen, in denen der Kausalitätsnachweis, auch unter erleichterten Bedingungen, nicht zu führen ist, sind der Rechtsverwirklichung faktische Grenzen gesetzt (Kinkel, 1989). Die Gefahr, die Grenzen einer verursachergerechten Zuordnung von Schäden zu überschreiten, ist beim Einsatz einer Wahrscheinlichkeitshaftung eher gegeben als bei der Einführung von Beweiserleichterungen. Deshalb sollten die Möglichkeiten, Beweiserleichterungen sinnvoll einzusetzen, voll ausgeschöpft werden, bevor an die Möglichkeit einer Wahrscheinlichkeitshaftung gedacht wird. So hat die unabhängige Sachverständigenkommission zum Umweltgesetzbuch in ihrem Reformvorschlag ausschließlich an eine Beweiserleichterung gedacht: Über die aus dem

Umwelthaftungsgesetz bereits bekannte Verursachungsvermutung hinaus (§ 6 UmweltHG bzw. § 176 Abs.2 UGB-KomE) wird eine allgemeinere Verursachungsvermutung gem. § 176 Abs.1 UGB-KomE eingeführt, die für sämtliche Tatbestände der Umwelthaftung in dem Entwurf gilt (BMU, 1998). Die Verursachungsvermutung beinhaltet eine Reduzierung des Beweismaßes: Die Verursachung wird dann vermutet, wenn nach den Umständen des Einzelfalls eine ganz überwiegende Wahrscheinlichkeit besteht, daß der Schaden durch eine tatbestandliche Handlung verursacht worden ist. Die unabhängige Sachverständigenkommission will damit der Gefahr einer Verdachtshaftung des Verantwortlichen vorbeugen (BMU, 1998).

Im Gegensatz dazu ist die Diskussion zu sehen, materiellrechtlich vollständig auf einen probabilistischen Kausalbegriff zurückzugreifen. Diese Diskussion wird bereits seit längerem, insbesondere in den USA, geführt. Ein auf der Basis der Wahrscheinlichkeitshaftung gestützter Tatbestand würde sinnvollerweise durch eine anteilige Haftung am Gesamtschaden ergänzt (Proportionalhaftung). Die Verursachungswahrscheinlichkeit gibt danach die Höhe des Schadensersatzanspruchs vor (Wiese, 1998). Stehen nur einige der maßgeblichen Verursacher fest, so bestünde ohne das Prinzip der Anteilshaftung die Gefahr der Übermaßhaftung, da die bekannten Verursacher für die Unbekannten mithaften würden.

Eine anschließende, aber unterschiedliche Frage ist, ob bei einer Verursachermehrheit jeder einzelne Verursacher gegenüber dem Geschädigten nach seinem Mitverschuldensanteil haftet oder die Verursacher gesamtschuldnerisch haften sollen, d. h. gemeinsam auf den vollen Schaden. Der Geschädigte kann sich dabei aussuchen, an wen er sich mit seinem Anspruch richtet. Der in Anspruch Genommene kann dann im Innenverhältnis der Verursacher Ausgleich erstreben, trägt dabei aber das Insolvenzrisiko beim Regreß. Aus Opferschutzgründen ist die Gesamtschuldnerschaft zu bevorzugen. Da der Geschädigte sich in der Regel an den finanziell leistungsfähigsten Verursacher halten wird, dieser aber nicht unbedingt der Hauptverursacher sein muß oder ihm nur ein geringes Mitverschulden vorzuwerfen ist, kann die Gesamtschuldnerschaft jedoch zu unbilligen Ergebnissen führen (sog. „deep-pocket“-Effekt).

Als Beispiel für die Anwendung eines statistischen (probabilistischen bzw. epidemiologischen) Maßstabs wird zumeist auf die einschlägige Rechtsprechung anderer Länder verwiesen. Eine gesetzliche Zugrundelegung stochastischer Kausalität bei Haftungsregelungen ist aber, soweit ersichtlich, auch in anderen Länder bisher nicht erfolgt. Wie zu erläutern ist, kann die in diesem Zusammenhang oft behandelte Sindell-Entscheidung des kalifornischen

Supreme Courts (Bodewig, 1985), aus der die sog. market share liability (Elliott, 1988) entwickelt wurde, durchaus auch anders gedeutet werden.

Die Mutter der Klägerin hatte während der Schwangerschaft zur Verhütung einer Fehlgeburt das Medikament DES genommen. Jahre später erkrankte die Klägerin aufgrund dessen an einer seltenen Krebserkrankung. Es war nicht mehr zu ermitteln, von welchem DES-Hersteller das Präparat stammte, das die Mutter der Klägerin eingenommen hatte. Nach der in der Entscheidung entwickelten market share liability wird der Marktanteil z. Z. der Ursachensetzung als Indiz für die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Hersteller den Schaden verursacht hat, herangezogen, und die Hersteller haften entsprechend ihrer Marktanteile (Marburger, 1986).

Zu beachten ist aber, daß es sich bei der Sindell-Klage um eine sog. class action handelte, d. h. eine Klage, bei der die Klägerin auch alle übrigen DES-Geschädigten repräsentierte (Elliott, 1988). Nach dem statistischen Gesetz der großen Zahl wird die Annahme, daß die Marktanteile der Mitverschuldensquote der Hersteller an dem Gesamtschaden (Gesundheitsbeeinträchtigung bei allen DES-Geschädigten) entsprechen wird, eher zu rechtfertigen sein als die Wahrscheinlichkeit im Einzelfall (Elliott, 1988). Vor diesem Hintergrund ist auch die Annahme, daß der Entscheidung ein probabilistischer Kausalbegriff zugrundelag, zu relativieren. Die market share liability wird in den USA im übrigen auch durchaus kritisch gesehen. Der Supreme Court von Iowa z. B. qualifizierte die market share liability als einen court-constructed insurance plan. Dem Supreme Court von Iowa fiel die Ablehnung der Klage in dem ihm vorliegenden Fall im übrigen insofern leichter, als keine class action zur Entscheidung stand (-Posch, 1988).

Bei der pollution share liability (Müller-Chen, 1997; Marburger, 1986), die der market share liability nachgebildet wurde, haftet der Emittent nach seinem Verschmutzungsanteil. Dabei reicht es in Fortführung des Sindell-Urteils, in dem nur die 5 größten Hersteller mit einem Marktanteil von 80% verklagt wurden, daß der Kläger die wesentlichen und nicht alle Emittenten der Gegend verklagt, was in Hinblick auf die entstehenden Ermittlungs- und Prozeßkosten sachgerecht ist. Eine Überhaftung kann dadurch vermieden werden, daß die Beklagten proportional haften – im Fall Sindell also bis zu 80% des Gesamtschadens. Die Analogiefähigkeit zwischen Marktanteilen und Verschmutzungsbeteiligung wird aber z. T. bezweifelt: Anders als in den DES-Fällen, wo jeder beklagte Hersteller durch die Herstellung eines bestimmten Arzneimittels, das eine bestimmte seltene Krebsform herbeiführt, mit Sicherheit einzelne Schadensfälle verursacht hat, könne dies bei der zudem

räumlich und zeitlich ungleich verteilten Emission von Schadstoffen nicht behauptet werden (Assmann, 1988).

In der japanischen Rechtsprechung finden sich von 1967–1973 4 Urteile, in denen eine statistische Korrelation zwischen bestimmten Schadstoffbelastungen und Krankheitshäufigkeiten als haftungsbe gründend angesehen wurden (Holzheu, 1994; Brüggemeier, 1989). Indes führte der japanische Gesetzgeber das Problem alsbald einer gesetzlichen Fondslösung (Rehbinder, 1989) zu, so daß die Haftung nicht mehr in Anspruch genommen wurde.

Festzuhalten bleibt: Ein probabilistischer Kausalitätsnachweis führt in der Regel dann nicht zu einer unakzeptablen Verdachtschaftung, wenn lediglich eine Beweiserleichterung durch die Reduzierung des Beweismaßes auf eine „(ganz) überwiegende“ Wahrscheinlichkeit eingeführt wird. In besonderen Fällen mag auch ein Markt- oder Verschmutzungsanteil durchaus als Indiz nutzbar gemacht werden, um einen Schaden verursachergerecht zuzuordnen, zu verallgemeinern ist dies jedoch nicht.

Probleme beim Kausalitätsnachweis bereiten auch die sog. Massenschäden. Darunter fallen Großunfälle – wie etwa jüngst der Eisenbahnunfall bei Eschede – die u. U. auch Beeinträchtigungen der Umwelt durch Emissionen nach sich ziehen können. Dieses Thema wurde von der Zivilrechtssektion des 62. Deutschen Juristentags im September 1998 aufgegriffen. Dabei wurde u. a. auch die Einführung von Gruppenverfahren in Deutschland diskutiert. Im Unterschied zum US-amerikanischen class action suit soll es jedoch keine Zwangsgemeinschaft der Geschädigten begründen. Es wurde auch die Bedeutung von Haftungsfonds herausgestrichen, die im Fall von Massenschäden Lücken im Versicherungsschutz schließen helfen könnten.

2.1.3

Verschuldens- oder Gefährdungshaftung

Nach traditioneller Einschätzung der deutschen Rechtslehre (Steffen, 1990) kommt der Verschuldenshaftung präventive Wirkung zu, der Gefährdungshaftung hingegen nicht. Die Verschuldenshaftung ist abhängig von der zutage gelegten Sorgfalt, während die Gefährdungshaftung gerade „Gegenleistung“ dafür ist, daß gefährliche, in ihren Folgen schwer abschätzbare Aktivitäten, die aber gesellschaftlich grundsätzlich gewollt sind, erlaubt werden: Die Last, die der Allgemeinheit durch „erlaubte Risiken“ zufällt, soll durch die Gefährdungshaftung ausgeglichen werden. Die zugespitzte Schlußfolgerung dieses herkömmlichen Verständnisses der Gefährdungshaftung ist, daß es widersinnig sei, der Ge-

fährdungshaftung Präventivfunktion zuzuschreiben, würde dies doch heißen, das Erlaubte gleich wieder zu verhindern.

Indes wird in der Rechtswissenschaft, nicht zuletzt beeinflusst durch die Erkenntnisse der wirtschaftswissenschaftlichen Forschung auf diesem Gebiet, zunehmend auch die präventive Seite der Gefährdungshaftung betont. Dogmatisch wird hierzu feinsinnig zwischen dem Zweck und der Wirkung der Gefährdungshaftung unterschieden (Rehbinder, 1992a). Weiterhin wird für eine präventive Deutung der Gefährdungshaftung angeführt, daß die Haftungsdrohung der Verschuldenshaftung ein integraler Bestandteil der Gefährdungshaftung sei und insofern die Gefährdungshaftung zumindest so sehr den Präventionszweck verfolge wie die Verschuldenshaftung (Blaschczock, 1993). Die Annahme, daß die Gefährdungshaftung nicht präventiv wirken könne, beruht auf einem statischen Verständnis des Rahmens des „erlaubten Risikos“. Die Gefährdungshaftung kann auch als gesetzter Zwang gegenüber dem Akteur gedeutet werden, die (sichereren) Handlungsalternativen (selbst) auszuloten (Ladeur, 1993).

Der Gegenmeinung, die die Präventionsfunktion der Gefährdungshaftung verneint, ist zugute zu halten, daß sie auf die Grenzen der nützlichen Präventionswirkung der Gefährdungshaftung hinweist: Die Haftungsdrohung darf nicht zu einem faktischen Verbot führen, indem bestimmte wirtschaftliche Tätigkeiten aus Furcht vor dem Haftungsfall gänzlich unterlassen werden. In dem Fall würde die Argumentation der Gegenmeinung in der Tat zutreffen. Noch vor Eintritt dieses Extremfalls ist aber stets in Rechnung zu stellen, daß Haftung innovationshemmend wirken kann.

Hierbei bedeutet der Verzicht nicht selbstverständlich ein mehr an Sicherheit. Denn im ungünstigsten Fall kann die Haftung dazu führen, daß eine bestimmte Tätigkeit mit bekannten und damit kalkulierbaren Risiken beibehalten wird, während eine alternative Tätigkeit mit (noch) unbekanntem – aber wie sich herausstellen würde, wesentlich geringeren Risiken – unterlassen wird. Dies ist bei der Instrumentalisierung der Gefährdungshaftung im Umweltrecht zu beachten: Die Strenge einer Haftung ist kein hinreichendes Kriterium für ihre Effektivität.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen der Verschuldenshaftung und der Gefährdungshaftung ergibt sich bei der Erfassung von Entwicklungs- und Allmählichkeitsschäden. Durch eine Gefährdungshaftung kann ein Verursacher grundsätzlich auch dann erfaßt werden, wenn der Schaden aus dem dauernden Betrieb einer rechtmäßigen Handlung allmählich entsteht, wie z. B. durch eine langwährende Düngungspraxis (Brüggemeier, 1989). Mit Entwicklungsschäden werden solche Schäden bezeichnet, de-

ren Eintritt zum Zeitpunkt der Verletzungshandlung nicht vorhersehbar war. Mit der Gefährdungshaftung wird ein Anreiz für den Unternehmer geschaffen, die Wirkungen einer erlaubten Aktivität ständig neu zu überprüfen, möglicherweise zu erforschen (Herbst, 1996). Ein solcher Anreiz geht von einer Verschuldenshaftung, die auf den subjektiven Schuldvorwurf abstellt, grundsätzlich nicht aus (Panther, 1992). Allerdings hat sich die Verschuldenshaftung durch die Verobjektivierung der Sorgfaltspflichten zunehmend der Gefährdungshaftung angenähert (Godt, 1997).

Bei der Gefährdungshaftung stellt sich die Frage, wie die grundsätzlich vollständige, aber in der Praxis regelmäßig eingeschränkte Zuweisung von Entwicklungsrisiken an die Unternehmen zweckmäßig im Sinn des Risikomanagements gestaltet werden kann. Dies geschieht beispielsweise durch die Festlegung von Haftungshöchstgrenzen oder den Haftungsausschluß für solche Schäden aus Entwicklungsrisiken, die im Zeitpunkt des Inverkehrbringens eines Produkts nicht erkennbar waren (vgl. § 1 Abs. 2 Nr. 5 ProdHG). Dadurch wird zudem verhindert, daß durch eine mögliche Überbelastung der Unternehmen diese auf Wirtschaftstätigkeiten und Forschung in bestimmten Bereichen gänzlich verzichten.

2.1.4

Die Rolle von Versicherungen

Bisher wurde die Haftung als 2-Personen-Verhältnis zwischen Verursacher und Geschädigtem dargestellt. In der Praxis tritt jedoch in der Regel eine dritte Person in das Verhältnis ein, die Versicherung. Trägt ein potentieller Schädiger allein die Schadenskosten, betreibt er bei risikoaverser Einstellung zu viel an Vorsorge. Er orientiert sich nicht am erwarteten Schaden, sondern mißt der Einkommensschmälerung durch Ersatzleistungen im Fall eines Schadens größere Bedeutung bei als der ausbleibenden Einkommensschmälerung, falls sich der Schaden nicht verwirklicht. Dies führt im Extrem dazu, daß Vorsorge durch Verzicht betrieben wird, so daß für eine Gesellschaft positive Entwicklungen nicht realisiert werden. Versicherungen helfen diesem Problem ab. Der potentielle Schädiger kann seine Ungewißheit oder Unsicherheit bezüglich künftig zu leistender Schadensersatzzahlungen durch die Zahlung einer Versicherungsprämie in Sicherheit transformieren (Karl, 1992).

Die Prämie der Versicherung ist am Erwartungswert des Schadens orientiert, und damit werden Vorsorgemaßnahmen tendenziell auf ein optimales Niveau reduziert. Insofern sind Versicherungsmöglichkeiten positiv zu beurteilen: Volkswirtschaftliche Kosten durch übermäßige Vorsorgeaufwendungen

werden reduziert. Es entstehen aber neue Kosten, wenn Versicherungen nur eingeschränkt dazu in der Lage sind, das individuelle Vorsorgeverhalten und das individuelle Risiko korrekt zu erfassen. Sofern der Schädiger davon ausgehen kann, daß eine Reduzierung von Vorsorge und damit Vorsorgekosten und/oder eine Ausdehnung risikoträchtiger Aktivitäten sich nicht in steigenden Versicherungsprämien niederschlagen, wird er seine Vorsorge einschränken und/oder seine risikobehafteten Handlungen ausdehnen. Das bringt zusätzliche Kosten für eine Volkswirtschaft mit sich. Konkurrenz unter Versicherungen zwingt diese aber dazu, risikoorientierte Prämien zu erheben, z. B. über Selbstbehalte oder Bonus-Malus-Systeme. Versicherungen setzen so einerseits Anreize, neues Wissen um Schadefekte und technische oder organisatorische Vorsorgemöglichkeiten zu produzieren. Sie wirken zugleich auch als Multiplikatoren für Erfahrungswissen, wenn sie in die prämienermittelnden Vorgaben Erfahrungen aus früheren Schadensfällen einfließen lassen.

Ob bestimmte risikobehaftete Aktivitäten für eine Gesellschaft von Vorteil sind und im Lauf der Zeit beherrschbarer werden, hängt somit auch von der Effizienz von Versicherungssystemen ab. Wenn risikobehaftete Handlungen nur deshalb durchgeführt werden, weil im Fall eines Schadens wegen begrenzter finanzieller Mittel Ersatzleistungen vom Schädiger nicht erbracht werden können, sind Pflichtversicherungen angebracht. Der Zwang ist berechtigt, weil Umweltbelastungen unfreiwillig häufig Dritte bedrohen und schädigen (Karl, 1992). Dabei ist aber darauf zu achten, daß durch das Pflichtsystem die Zuordnung von Einzelverantwortung, wie sie die Haftung schafft, nicht gleich wieder ausgehöhlt wird, indem die Versicherung als anonyme „Kostenersatzstelle“ genutzt wird, und diese wiederum auf Regreßmöglichkeiten bei den individuellen Schädigern verzichtet.

Am Schluß soll auf das Grundproblem des moral hazard eingegangen werden. Der Begriff wurde in der Versicherungswirtschaft für den Fall geprägt, daß ein Schaden durch einen Versicherungsnehmer zu hoch oder sogar gänzlich fälschlicherweise angezeigt wurde. Das Problem für die Versicherung besteht in der fehlenden Nachprüfbarkeit. Das Problem für das Versicherungswesen insgesamt besteht darin, daß die Prämienleistungen höher liegen als es nach den versicherten Risiken angemessen wäre. Bei der Umwelthaftung bestehen verschiedene Fälle des moral hazard für die Versicherung: Verfügt die Versicherung nur über ungenügende Informationen über das von einem einzelnen Versicherten ausgehende Risiko, so kann sie nur zu irgendeiner Form von Durchschnittstarifung greifen. Damit wird jedoch der Anreiz des einzelnen, Schadensverhütungsmaßnahmen zu er-

greifen, gedämpft (Holzheu, 1994). Aufgrund der Deckung eines Schadens durch die Versicherung besteht für den Schädiger kein direktes Interesse, ein Mitverschulden des Geschädigten auf die Schadenshöhe anrechnen zu lassen. Zu nennen ist auch das von Priest als *victim-moral-hazard* bezeichnete Phänomen, das die Versicherungswirtschaft der USA in den 80er Jahren in die Krise stürzte (Herbst, 1996). Im Bereich der Produkthaftung wurden zunehmend die Produzenten und damit ihre Versicherungen in Fällen in Anspruch genommen, in denen vormals die Schäden von den Geschädigten selbst oder ihren Eigenversicherungen zu tragen gewesen wären. Diese Verlagerung kam durch das Anlegen immer strengere Sorgfaltsmaßstäbe durch die Gerichte zustande, unterstützt durch die bekanntlich astronomisch hohen Beträge der Schadensersatzleistungen. Dies führte zu drastischen Prämiensteigerungen und z. T. zum kompletten Wegfall des Versicherungsschutzes bei Produkten. Die in den USA gemachten Erfahrungen sind angesichts der unterschiedlichen Rechtssysteme nicht unmittelbar übertragbar, insbesondere sind in Deutschland mit dem Opfer „sympathisierende“ Geschworene, die die Ersatzforderung in irrationale Höhe treiben, nicht vorgesehen. Sie zeigen aber, daß die Versicherbarkeit von Risiken maßgeblich von einer vorsichtig und abwägend entscheidenden Rechtsprechung abhängt, die ein strenges Auge auch auf das Verhalten der Geschädigten wirft (Herbst, 1996). Das allgemeine Lebensrisiko oder das Risiko, das der einzelne sich selbst setzt, darf nicht unter dem Deckmantel des Opferschutzes und des Ausgleichsgedankens auf vermutete Schädigergruppen abgewälzt werden.

2.1.5

Verwirklichung des Haftungsanspruchs und Prävention

Für den individuellen Schädiger und auch für Versicherungen sind nicht die erwarteten Schäden, sondern die erwarteten tatsächlichen Schadensersatzleistungen relevant. Je geringer die Wahrscheinlichkeit für einen Schadensersatz eingeschätzt wird, desto geringer fallen die erwarteten Schadensersatzzahlungen oder Prämien und damit die Vorsorgeanreize aus. Hierfür können 2 Gründe ursächlich sein:

- Klagen sind nicht durchsetzbar, da Anspruchsgrundlagen fehlen oder Nachweisprobleme auftreten oder weil ein Ersatz oder eine Entschädigung nicht möglich sind.
- Klagen rechnen sich ökonomisch nicht.

Damit werden zu viele Risiken eingegangen, wobei Dritte die Schadenskosten tragen. Die Ursachen sind aber, wie die Auflistung zeigt, vielfältiger Natur. Auf

der einen Seite spielt die Ausgestaltung von Institutionen eine große Rolle: Notwendige Rechtsregeln für eine erfolgreiche Haftung können fehlen (Klagerechte) oder beispielsweise so ausgestaltet sein, daß notwendige Nachweise sehr kostspielig werden. Hier wären institutionelle Alternativen zu prüfen, die der Haftung mehr Raum gewähren. Auf der anderen Seite können aber haftungsbegründende Institutionen unabhängig von ihrer Ausgestaltung grundsätzlich mit so hohen Kosten verbunden sein, daß ihre Wirksamkeit stark eingeschränkt ist. So wird bei vielen Emittenten der Nachweis, daß einer dieser Emittenten einen Schaden verursacht hat, unabhängig von Rechtsregeln vielfach nicht „wahrheitsgemäß“ zu erbringen sein. Ebenso wird es bei Schäden, die mit großer Zeitverzögerung auftreten oder durch Synergismen entstanden sind, häufig nicht möglich sein, den „tatsächlichen“ Schädiger zu bestimmen. Hier muß auf den Haftungsanspruch notfalls, wenn keine Beweiserleichterungsregeln zum Erfolg verhelfen, verzichtet und über andere Instrumente nachgedacht werden. Denn das Interesse am Opferschutz darf zu keiner Verdachtshaftung führen.

2.2

Haftung nach internationalem Umweltprivatrecht

Die Effizienz der privatrechtlichen Haftung ist bei grenzüberschreitenden Umweltbeeinträchtigungen reduziert, wenn Verursacher und Schaden in verschiedenen Staaten lokalisiert sind. Das Risiko, zum Schadensersatz herangezogen zu werden, ist bislang in solchen Fällen *de facto* sehr viel geringer. Rechtspolitisches Ziel ist es demgegenüber, dem Geschädigten Rechtsschutz in einem ihm zugänglichen Forum zur Verfügung zu stellen; die dort ergangenen Entscheidungen müssen Aussicht auf Vollstreckung in dem Staat haben, in dem sich die störende Anlage bzw. das Vermögen des Schädigers befindet.

Die Haftungsvoraussetzungen werden von staatlichem Recht bestimmt und sind deshalb von Land zu Land unterschiedlich ausgestaltet. Es muß daher Sorge getragen werden, daß sich der Störer nicht durch seine Wahl des Standorts auf das jeweils niedrigste Schutzniveau zurückziehen kann („Haftungsoasen“). Dem könnte zunächst dadurch begegnet werden, daß – weltweit oder regional – einheitliches Umwelthaftungsrecht eingeführt wird. Dies setzt allerdings voraus, daß die beteiligten Staaten einem derartigen Haftungsregime zustimmen. Dies hat sich bislang nur auf einzelnen Spezialgebieten durchsetzen lassen. Indes könnte die Effektivität der internationalen Umwelthaftung auch ohne Einführung einheitlicher Haftungsstandards durch Harmonisierung der nationalen Regeln über das Internationale Pri-

vatrecht erheblich gesteigert werden: Das Internationale Privatrecht bzw. Kollisionsrecht enthält selbst keine Haftungsnormen; es hat vielmehr zu klären, nach welcher nationalen Rechtsordnung die Schädigung zu beurteilen ist.

2.2.1 Übereinkommen zum Internationalen Umwelthaftungsrecht

Hinsichtlich der internationalen Umwelthaftung wurden Übereinkommen bislang nur auf einzelnen Gebieten wie der Öl- und der Nuklearhaftung abgeschlossen (Kap. F 2.2.1.1); hinzuweisen ist jedoch auf die Arbeiten verschiedener Organisationen, die Entwürfe für Kodifikationen vorgelegt haben (Kap. F 2.2.3). Zu unterscheiden sind 2 Grundtypen internationaler Übereinkommen: Zum einen Abkommen rein kollisionsrechtlicher Natur, die keine eigenständigen Haftungsregeln formulieren, sondern nur festlegen, welches nationale Haftungsregime Anwendung findet, wenn ein Sachverhalt Bezug zu verschiedenen Rechtsordnungen aufweist. Zum anderen gibt es Übereinkommen, die eigenständige materiellrechtliche Lösungen vorsehen, also echtes internationales Einheitsrecht schaffen.

2.2.1.1 Übereinkommen zu Spezialmaterien

Verschmutzungschäden beim Seetransport
Wegbereitend für das heutige Haftungsregime beim Seetransport war das von der International Maritime Organisation (IMO) ausgearbeitete Internationale Übereinkommen vom 29. November 1969 über die zivilrechtliche Haftung für Ölverschmutzungsschäden (Ganten, 1997; Rinio, 1997; von Hoffmann, 1998). Diesem waren neben der Bundesrepublik Deutschland 90 weitere Staaten beigetreten, nicht jedoch die USA, die nach wie vor auf einem Sonderweg beharren. Auf der Grundlage eines verbesserten Protokolls vom 27. November 1992, das als eigenständiges Übereinkommen ausgestaltet wurde, werden Unfälle ab dem 15. Mai 1998 reguliert. Erfasst werden Verschmutzungsschäden, die innerhalb der ausschließlichen Wirtschaftszone eines Vertragsstaats (also bis maximal 200 Seemeilen) eintreten. Betroffen sind alle Schiffe, die zur Beförderung von Öl als Massengut konstruiert sind; dabei ist unerheblich, ob das Schiff einem Vertragsstaat angehört. Die auf den Eigentümer des Schiffs gerichtete Gefährdungshaftung ist in dem Übereinkommen abschließend geregelt. Die Haftungshöchstbeträge wurden 1992 deutlich angehoben; diese greifen nicht ein, so-

fern Verschulden dargelegt wird. Zudem haben die Eigentümer Haftpflichtversicherungen abzuschließen, deren Deckungssummen sich nach den Schiffsgrößen richten. Schadensersatzklagen können nur bei den Gerichten der Vertragsstaaten erhoben werden, in deren Territorium der Schaden entstanden ist oder Schutzmaßnahmen getroffen wurden.

Das Haftungsübereinkommen wird ergänzt durch das Fondsübereinkommen vom 18. Dezember 1971 über die Errichtung eines internationalen Fonds zur Entschädigung für Ölverschmutzungsfälle. Dieses soll dem Geschädigten einen zusätzlichen Schutz gewährleisten, wenn ein Ölverschmutzungsschaden nach dem Haftungsübereinkommen nicht oder wegen der summenmäßigen Haftungsbegrenzung nicht voll ersetzt wird. Der Fonds wird aus Beiträgen der Mineralölwirtschaft gespeist. Parallel zu dem Haftungsübereinkommen von 1969 wurde auch dieses Fondsübereinkommen durch das Protokoll von 1992 grundlegend überarbeitet.

Im Jahr 1996 hat die International Maritime Organisation eine International Convention on Liability and Compensation for Damage in Connection with the Carriage of Hazardous and Noxious Substances by Sea (HNS-Konvention) vorgelegt. Ausgeklammert bleiben die Spezialübereinkommen unterworfenen Regulierung von Öl- und Nuklearunfällen auf See. Subsidiär gegenüber der Gefährdungshaftung des Beförderers wird die Errichtung eines dem Ölhaftungsfonds nachgebildeten HNS-Fonds vorgesehen. Noch nicht absehbar ist, ob dieses Übereinkommen in Kraft treten wird; bis zum Abschluß der Zeichnungsfrist Ende September 1997 hatten neben der Bundesrepublik nur 6 weitere europäische Staaten sowie Kanada gezeichnet. Angesichts der Bedeutung der behandelten Materie – mehr als die Hälfte aller auf See transportierten Güter werden als gefährlich oder giftig eingestuft (Puttfarcken, 1997) – erscheint ein einheitliches Haftungsregime im höchsten Maß wünschenswert. Die Zurückhaltung vieler Staaten ist offenbar damit zu erklären, daß sich im Gegensatz zum Öltransport bislang kein Unfall überragender Größenordnung ereignet hat.

Nuklearunfälle

Für Westeuropa wurden im Bereich des Atomhaftungsrechts eine weitgehende Rechtsvereinheitlichung durch das Pariser OECD-Übereinkommen vom 29. Juli 1960 über die Haftung Dritter auf dem Gebiet der Kernenergie (PÜ) sowie das Brüsseler Zusatzübereinkommen (BZÜ) vom 31. Januar 1963 erzielt. Das PÜ regelt die zivilrechtliche Haftung aus einem „nuklearen Ereignis“, während das BZÜ im Verhältnis der Vertragsstaaten die völkerrechtlichen Modalitäten der finanziellen Deckung klärt. Erfasst werden nicht nur Unfälle, sondern auch schädigende

Dauereinwirkung. Die Schadensregulierung richtet sich in erster Linie nach den Regeln des PÜ selbst. Ergänzend, etwa hinsichtlich des Anspruchs auf Schmerzensgeld, wird auf innerstaatliches Recht des Forumstaats verwiesen, also des Staats, in dem die Unfallanlage gelegen ist. Nach dem PÜ haftet der Inhaber der Kernanlage, unabhängig davon, ob er den Schaden verschuldet hat. Für Schadensfälle in der Bundesrepublik ist abweichend vom PÜ seit 1985 keine Begrenzung der Haftungssumme mehr vorgesehen. Räumlich erfaßt das PÜ weder nukleare Ereignisse, die von Anlagen in Nichtvertragsstaaten ausgehen, noch dort erlittene Schäden. Somit fiel insbesondere die Reaktorkatastrophe von Tschernobyl nicht in dessen Anwendungsbereich. In diesem Fall wurden die Opfer, wenn überhaupt, durch Leistungen der betroffenen Staaten entschädigt. Anstelle der Betreiber des Kraftwerks mußte daher etwa der deutsche Steuerzahler aufkommen.

Nur sehr begrenzten Erfolg hatte bisher das von der Internationalen Atomenergieorganisation (IAEO) erarbeitete Wiener Übereinkommen über die zivilrechtliche Haftung für Nuklearschäden vom 21. Mai 1963. Dieses war ursprünglich als weltweites Abkommen gedacht, enthält demgemäß jedoch oft nur Mindestbestimmungen, die von den meisten Staaten als unzureichend angesehen werden.

Im September 1997 erfolgte eine Revision des Wiener Übereinkommens durch ein Änderungsprotokoll. Es bleibt abzuwarten, ob das noch nicht in Kraft gesetzte Protokoll die Akzeptanz des Wiener Übereinkommens steigern wird. Gleichzeitig wurde ein Übereinkommen zur ergänzenden Kompensation für Nuklearunfälle zur Zeichnung ausgelegt. Beide Übereinkommen erfassen nunmehr explizit die Kosten für die Wiederherstellung beeinträchtigter Umwelt als Schadenskategorie.

Für den Seetransport gilt das Brüsseler Übereinkommen vom 17. Dezember 1971 über die zivilrechtliche Haftung bei der Beförderung von Kernmaterial auf See. Ziel ist es, den Betreiber der Kernenergieanlage haften zu lassen. Noch nicht in Kraft getreten ist hingegen das Übereinkommen vom 25. Mai 1962 über die Haftung der Inhaber von Reaktorschiffen. Die Zurückhaltung vieler Staaten dürfte politisch dadurch begründet sein, daß der Wortlaut des Übereinkommens auch Kriegsschiffe erfaßt.

2.2.1.2

Allgemeine Übereinkommen zur Umwelthaftung

Betrachtet man den Stand der Ratifizierung, fällt die Bestandsaufnahme hinsichtlich allgemeiner Haftungsübereinkommen für grenzüberschreitende

Umweltschäden deutlich weniger ermutigend aus als hinsichtlich der Spezialübereinkommen:

Europarat

Die Luganer Konvention des Europarats über die zivilrechtliche Haftung für Schäden durch umweltgefährdende Tätigkeiten vom 21. Juni 1993 (Pipers, 1995; Friehe, 1995; Seibt, 1994) geht inhaltlich über die Regelung der eigentlichen Haftung (einschließlich der Verpflichtung zum Abschluß von Haftpflichtversicherungen) weit hinaus. So finden sich etwa flankierende Bestimmungen prozeß- und verwaltungsrechtlicher Natur. Vorgesehen ist eine verschuldensunabhängige Gefährdungshaftung für gefährliche Tätigkeiten. Solche sind in der Konvention, allerdings nicht abschließend, aufgelistet. Die Konvention wurde bislang nur von wenigen Staaten gezeichnet, jedoch von keinem Staat ratifiziert.

Die Aussichten eines Inkrafttretens – dazu wären 3 Ratifizierungen erforderlich – können nicht als günstig bezeichnet werden. Dazu dürfte beigetragen haben, daß den Mitgliedstaaten nicht die Möglichkeit eingeräumt wurde, Haftungshöchstgrenzen zu bestimmen. Andere Staaten wie etwa die Bundesrepublik, die im Jahr 1991 ein eigenes Umwelthaftungsgesetz in Kraft gesetzt hat, sehen gegenwärtig keinen Bedarf für eine derart detaillierte Regelung auf staatsvertraglicher Basis. Solche gesetzgeberische Zurückhaltung ist freilich nicht gerechtfertigt, sofern die nationale Lösung der internationalen nicht deutlich überlegen ist.

Europäische Union

Zu beachten ist derzeit in erster Linie das Umwelt-Grünbuch der EG-Kommission aus dem Jahr 1993 (KOM 93 (47); Müller-Chen, 1997; Hager, 1997). Erklärtes Ziel ist es, Wettbewerbsverzerrungen aufgrund unterschiedlicher Haftungssysteme zu reduzieren. Im Mittelpunkt steht der Gedanke der Wiederherstellung der Natur, erst in zweiter Linie die eigentliche Kompensation. Kollektive Entschädigungsmodelle werden als Auffangmechanismen diskutiert. Eine Umsetzung des Grünbuchs in konkrete Gesetzgebungsvorhaben ist angesichts der höchst kontroversen Diskussion noch nicht absehbar. Inzwischen bemüht sich die Kommission um ein Weißbuch, das als Grundlage für weitere Überlegungen dienen soll. Als extreme Positionen kommen zum einen eine umfassende Angleichung des Umwelthaftungsrechts durch eine EG-Richtlinie und zum anderen das Beibehalten der gegenwärtigen Situation, also der Regelungskompetenz der Mitgliedstaaten, in Betracht. Als vermittelnde Lösung wird ein Beitritt der Gemeinschaft und ihrer Mitgliedstaaten zu der Luganer Konvention des Europarats diskutiert. Im Schrifttum wird die Berechtigung einer eigen-

ständigen Regelung auf EU-Ebene unter Hinweis auf das Subsidiaritätsprinzip und diese Konvention in Frage gestellt (Klass, 1997).

Ist eine echte Sachrechtsvereinheitlichung des Umweltprivatrechts in der EU in nächster Zukunft nicht zu erwarten, rücken Ansätze für eine Vereinheitlichung des Kollisionsrechts auf europäischer Ebene in den Vordergrund. Im Zusammenhang mit entsprechenden Entschlüssen der europäischen Regierungskonferenz von Amsterdam im Juni 1997 nehmen gegenwärtig die Vorarbeiten für ein Übereinkommen über das auf außervertragliche Schuldverhältnisse anzuwendende Recht konkrete Gestalt an. Ein solches Übereinkommen sollte auch die Frage nach dem anwendbaren Umwelthaftungsrecht bei grenzüberschreitenden Beeinträchtigungen umfassen. Als kollisionsrechtlicher Lösungsansatz bietet sich dabei das Günstigkeitsprinzip an.

Haager Konferenz

Hingewiesen sei ferner auf Überlegungen der Haager Konferenz für Internationales Privatrecht, Probleme des Umwelthaftungsrechts in einem Übereinkommen zu regeln (von Bar, 1995). Entsprechend der Tradition der Haager Konferenz stehen bei diesen Bemühungen spezifisch kollisions- und internationalverfahrensrechtliche Fragestellungen im Vordergrund. Ein Termin steht noch nicht fest. Gegenstand der XIX. Konferenz im Jahr 2000 wird dieses Übereinkommen noch nicht sein.

Skandinavien

Als Vorbild für ein mehrseitiges Abkommen könnte die zwischen den skandinavischen Staaten abgeschlossene Nordic Environmental Protection Convention vom 19. Februar 1974 dienen, die alle von Immobilien ausgehenden Emissionen eines Vertragsstaats erfaßt (Lappe, 1993). Die Vorteile dieses Übereinkommens liegen insbesondere in der Gleichstellung von In- und Ausländern in umweltrechtlichen Verfahren sowie in dem Recht, in dem Staat, von dem die Umweltschädigung ausgeht, zu klagen. Überzeugend erscheinen zudem die kollisionsrechtlichen Regelungen der Konvention, wonach der Geschädigte im Ergebnis wählen kann, ob das am Ort der schadensverursachenden Handlung oder das am Ort des Schadenseintritts geltende Recht anzuwenden soll. In jedem Vertragsstaat wird zum Schutz vor umweltschädigenden Handlungen aus den Vertragsstaaten eine Überwachungsstelle gegründet, die in den anderen Vertragsstaaten auch gehört werden muß; um ihr Handeln effektiv zu gestalten, ist eine Informationspflicht vereinbart.

2.2.3

Verfahrensrechtliche Probleme

Die Steuerungsfunktion des internationalen Umwelthaftungsrechts kann nicht verbessert werden, solange nicht die prozessualen Fragen der grenzüberschreitenden Rechtsverfolgung hinreichend berücksichtigt werden (Schack, 1992): So kann die Frage, in welchem Land geklagt werden kann (internationale Entscheidungszuständigkeit) eine grenzüberschreitende Rechtsverfolgung erheblich erschweren. Von Bedeutung sind auch die Anerkennung und Vollstreckung ausländischer Gerichtsurteile.

Die oben erwähnten internationalen Übereinkommen zu Spezialmaterien enthalten ausdrückliche Regelungen, die die Entscheidungszuständigkeit regeln. Das Beispiel des Art. 13 des Pariser Übereinkommens im Bereich Nuklearhaftung (Kap. F 2.2.1.1), nach dem die Gerichte des Anlagestaats ausschließlich zuständig sind, zeigt aber, daß spezielle Regelungen problematisch sein können. Denn die verfahrensrechtliche Kanalisierung auf die Gerichte des Anlagestaats erschwert dem Geschädigten die Rechtsverfolgung und steht im Widerspruch zu der angemesseneren Wertung der allgemeinen Regelung durch das EuG-VÜ, das die Gerichte am Handlungs- und am Erfolgsort für konkurrierend zuständig erklärt. Das EuG-VÜ (Brüsseler EWG-Übereinkommen über die gerichtliche Zuständigkeit und die Vollstreckung gerichtlicher Entscheidungen in Zivil- und Handelssachen) hat herausragende Bedeutung für den europäischen Rechtsverkehr, findet aber im Bereich der spezielleren Regelung des Art. 13 des Pariser Übereinkommens keine Anwendung.

Weiterhin ist ein effektiver Rechtsschutz nur gewährleistet, wenn ein von den Geschädigten gegen den Störer erstrittenes Schadensersatz- oder Unterlassungsurteil vollstreckt werden kann. Bei grenzüberschreitenden Immissionen stellt sich dabei häufig die Frage, ob ein am inländischen Erfolgsort erlassener Titel auch in dem Staat anerkannt und vollstreckt wird, in dem sich die störende Anlage befindet. Für den europäischen Rechtsverkehr verbürgt das bereits zur internationalen Entscheidungszuständigkeit erwähnte EuG-VÜ eine größtmögliche Freizügigkeit von Titeln innerhalb der Mitgliedstaaten. Die Luganer Konvention des Europarats über die zivilrechtliche Haftung für Schäden durch umweltgefährdende Tätigkeiten (Kap. F 2.2.1.2) sieht entsprechende Bestimmungen vor. Hingewiesen sei auch auf das Vorhaben der Haager Konferenz für Internationales Privatrecht, ein weltweites Anerkennungs- und Vollstreckungsübereinkommen zu schaffen, das insbesondere auch den Rechtsverkehr mit den Vereinigten Staaten erfassen würde. Dieses

Übereinkommen wird Gegenstand der XIX. Haager Konferenz im Jahr 2000 sein (zu den Vorarbeiten vgl. von Mehren, 1997 und Walter, 1997).

Sämtliche Übereinkommen enthalten abschließende Kataloge von Gründen, aus denen die Anerkennung und Vollstreckung im Inland verweigert werden darf. Erwähnt sei, daß zu diesen Gründen nicht ausdrücklich der Umstand zählt, daß eine gegen den Störer im Urteilsstaat erwirkte Entscheidung unvereinbar mit einer privatrechtsgestaltenden Betriebsgenehmigung ist, die dem Störer im Anerkennungsstaat erteilt wurde. Dessen ungeachtet wird vielfach unter Hinweis auf den Vorbehalt des *ordre public* angenommen, daß eine derartige Genehmigung der Anerkennung und Vollstreckung entgegenstehen müsse (Schack, 1992). Diese Beeinträchtigung der Freizügigkeit ist bedauerlich und unterstreicht das Bedürfnis nach einer internationalen Angleichung des öffentlichen Genehmigungsrechts.

Auch sofern internationale Übereinkommen nicht eingreifen, sind viele Staaten bereit, ausländische Gerichtsentscheidungen anzuerkennen und zu vollstrecken. In diesem Zusammenhang sei auf § 32 a ZPO hingewiesen: Indem dieser für inländische Anlagen im Sinn des Umwelthaftungsgesetzes eine ausschließliche Zuständigkeit deutscher Gerichte vorsieht, steht er der *Anerkennung* am ausländischen Erfolgsort der Umweltbeeinträchtigung erwirkter Entscheidungen entgegen. Demgegenüber beansprucht die Bundesrepublik im umgekehrten Fall für ihre Gerichte die internationale Zuständigkeit unter dem Gesichtspunkt des inländischen Erfolgsorts auch dann, wenn sich die Anlage im Ausland befindet. Somit erweist sich § 32 a ZPO nicht nur als Ausdruck einer ungerechtfertigten kompetenzrechtlichen Ungleichbehandlung in- und ausländischer Gerichte, sondern hindert auch die Freizügigkeit von Entscheidungen und stört somit empfindlich den internationalen Entscheidungseinklang (Pfeiffer, 1993).

2.2.4

Empfehlungen zur Haftung nach internationalem Umweltprivatrecht

Ein effektives, sach- und interessengerechtes Haftungsregime kann für grenzüberschreitende Umweltbeeinträchtigungen nur international erarbeitet werden. Dabei liegt die Überlegenheit sachrechtsvereinheitlichender Übereinkommen, die umfassende und in sich abgestimmte Regelungen bereitstellen können, auf der Hand. Darüber hinaus können Fragen wie Haftpflichtversicherungen oder die Gründung und Finanzierung von Haftungsfonds angegangen werden. Andererseits lehrt die Vergangenheit,

daß es in Vertragsverhandlungen nur selten gelingt, sich auf eine abschließende Regelung der in Rede stehenden Problematik zu verständigen. Nationale Gesetzgeber versprechen sich von internationalprivatrechtlichen Neuerungen wenig wählerwirksame Publizität – insbesondere bei der für die nationale Wettbewerbsfähigkeit relevanten Umwelthaftung. Häufig führt erst der nach eingetretenen Katastrophen entstandene öffentliche Druck zu gesteigerter Verhandlungsbereitschaft. So wird etwa das Ölhaftungsabkommen von 1969 in Verbindung mit der durch den liberianischen Tanker „Torrey Canyon“ im Jahr 1967 vor Cornwall verursachten Ölpest gebracht; die Empfehlung der Justizministerkonferenz von 1986, die zur Luganer Konvention des Europarats führte, erging wenige Wochen nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl (und nur kurz vor dem Sandoz-Unglück in Basel).

Umgekehrt sind Vorschläge für internationale Übereinkommen gescheitert, weil die vorgesehenen Haftungsgrenzen als zu gering angesehen wurden. Zudem ist vielen, gerade europäischen Staaten, die sich in jüngerer Zeit mit erheblichem Aufwand um die Schaffung moderner Umwelthaftungsgesetze bemüht haben, nur schwer die Notwendigkeit internationalen Einheitsrechts zu vermitteln, sofern dieses den betriebenen Aufwand hinfällig werden ließe oder sachlich einen Rückschritt bedeutete. Es zeigt sich daher, daß internationales Einheitsrecht entweder nur auf eindeutig eingrenzenden Spezialgebieten (Atom- und Ölschadenshaftung; künftig: Gentechnik) oder für einen beschränkten Kreis von Mitgliedstaaten (Skandinavien; möglicherweise die EU) Aussicht auf Erfolg hat. Rein kollisionsrechtliche Übereinkommen versprechen demgegenüber zwar nur eingeschränkte Vereinheitlichungswirkung, sind jedoch aufgrund ihrer höheren Konsensfähigkeit in der Praxis realistischer.

Empfehlenswert und praktikabel erscheint ein mehrstufiges Vorgehen:

- Kurzfristig sind die Arbeiten an einem EU-Kollisionsrechtsübereinkommen voranzutreiben, um auf diese Weise den internationalen Entscheidungseinklang in Fällen grenzüberschreitender Umweltbeeinträchtigungen sicherzustellen. Das danach anwendbare Recht sollte aus den oben genannten Gründen nach Maßgabe des Günstigkeitsprinzips ermittelt werden. Eine solche Vereinheitlichung des Kollisionsrechts, für die ein erfolgreiches Vorbild im Internationalen Schuldvertragsrecht existiert, wäre die wünschenswerte Ergänzung zu der durch das EuG-VÜ erreichten prozeßrechtlichen Harmonisierung.
- Mittelfristig erscheint die Angleichung des materiellen Umwelthaftungsrechts innerhalb der Europäischen Union bereits wegen der damit ver-

bundenen Angleichung der Wettbewerbsbedingungen geboten. Mit dieser Privatrechtsangleichung sollte auch eine Harmonisierung des öffentlichen Genehmigungsrechts einhergehen. Mit dem Europäischen Gerichtshof steht eine Instanz zur Verfügung, die die erstrebenswerte einheitliche Auslegung der so zu schaffenden Vorschriften in den Mitgliedstaaten sicherstellen kann.

- Gleichwohl sollte parallel die Luganer Konvention des Europarats gefördert werden, zumal diese nicht zuletzt durch die Möglichkeit einer Einbindung osteuropäischer Staaten attraktiv erscheint. Hinsichtlich solcher Staaten, die sich zu einer derart weitgehenden Sachrechtsvereinheitlichung nicht entschließen können, muß zumindest angestrebt werden, daß dort Entscheidungen anerkannt und vollstreckt werden, die von Geschädigten am Gerichtsstand des Erfolgsorts erwirkt wurden. Als Anerkennungsübereinkommen, die insbesondere auch Nichtmitglieder der EU ansprechen, stehen gegenwärtig bereits das Luganer Übereinkommen und künftig erwartungsgemäß das Haager Anerkennungs- und Vollstreckungsübereinkommen zur Verfügung.
- Förderung verdient schließlich das inzwischen von der Haager Konferenz angegangene Ziel, ein international konsensfähiges Kollisionsrechtsübereinkommen zur Umwelthaftung zu entwickeln. Die Aussichten eines solchen ehrgeizigen Projekts können gegenwärtig noch nicht abgeschätzt werden. Indes ist die Arbeit an einem solchen Vorhaben – unabhängig von der letztlich erzielten Anzahl von Ratifikationen – ein Pionierunternehmen zur Förderung des Verständnisses des Privatrechts als Mittel zum globalen Risikomanagement im Umwelthaftungsrecht.

Umwelthaftungsfonds können einige der Probleme einer individuellen Haftung lösen. Ihr Zweck kann darin liegen, Finanzmittel zur Behebung und zum Ausgleich von bereits eingetretenen Schäden zu erhalten, oder Mittel anzusammeln, um künftige Schäden zu kompensieren. Im ersten Fall steht die Finanzierungsfunktion im Vordergrund, z. B. beim Altlastensanierungsfonds in den USA (Hohloch, 1994; Karl, 1994). Im zweiten Fall tritt eine Präventionsfunktion dazu, wenn künftige Schäden oder Ersatzleistungen durch Vorsorgemaßnahmen reduziert werden können. Mit Fonds wird versucht, Schäden aus der Umweltbelastung von Produkten, der Entsorgung von Abfällen und dem Stoffeintrag in Luft, Boden und Gewässer trotz fehlenden Zugriffs auf individuelle Schädiger auszugleichen und spezifische Vorsorgeanreize für potentielle Schädiger zu setzen. Sie sind erwägenswert, wenn individuelle Kausalitätsnachweise mit hohen Kosten verbunden sind oder einzelne Schädiger nicht zum Schadensersatz herangezogen werden können. Nachweisprobleme treten auf bei (Karl, 1994)

- vielen potentiellen Verursachern,
- unbekanntem Emissionsquellen,
- langen Zeiträumen zwischen Emission und Schaden,
- Synergieschäden,
- der eindeutigen Bestimmung der Schadensursache.

Je schwieriger es ist, einen Zusammenhang zwischen tatsächlichem Schädiger und Schaden herzustellen, desto dominanter wird die Ausgleichsfunktion eines Fonds. Unter Effizienzgesichtspunkten sind Fonds dann am wirksamsten, wenn ein abgrenzbarer Kreis von potentiellen Schädigern existiert, die vollständig erfaßt werden und risikoproportionale Beiträge in den Fonds einzahlen, und diesem Kreis eine Gruppe gegenübersteht, deren Schäden relativ eindeutig auf bestimmte Effekte zurückzuführen sind. Hier können bei geeigneter Ausgestaltung der Anknüpfungspunkte für die Fondsbeiträge differenzierte Vorsorgeanreize gesetzt werden. Dazu müssen die Beiträge an den Umständen anknüpfen, auf die der Schaden zurückzuführen ist, und nicht an Ersatzgrößen (z. B.

an Emissionsmengen statt an Produkten oder Einsatzstoffen) (Karl, 1994; Rehbinder, 1992b). Hier treten Probleme der Abwägung von Effizienzvorteilen und Praktikabilität auf. Je undifferenzierter die Fondsbeiträge erhoben werden, desto eher werden einzelne Emittenten eine Freifahrerposition einnehmen, weil Vorsorge nicht belohnt wird und die Schadenskosten von allen Fondsmitgliedern getragen werden. Voraussetzung für eine Differenzierung ist aber ein Interesse der Fondsbetreiber daran, derartige Anreize zu setzen. Im Unterschied zu Versicherungen, die einen Anreiz dazu haben, wenn sie sich im Wettbewerb gegenüber Konkurrenten behaupten müssen und effiziente Vorsorgeanreize Kostensenkungen ermöglichen, fehlt dieser Anreiz möglicherweise bei Fondsbetreibern (Ladeur, 1993). Je schwächer dieser Anreiz aber ausgeprägt ist, desto mehr rückt die Schadensausgleichsfunktion von Fonds in den Vordergrund. Von Fonds werden im Vergleich zu einer individualisierten Gefährdungshaftung auch nur unzureichende Anreize ausgehen, Forschungen durchzuführen, um mögliche negative Wirkungen von Emissionen aufzudecken, die bisher nicht bekannt sind. Dies lohnt nur, wenn damit Beiträge reduziert werden können, diese sich also beispielsweise (auch) am Forschungsaufwand eines Emittenten ausrichten.

Diese Kritikpunkte an Fonds unter Effizienzgesichtspunkten lassen eine grundsätzliche Befürwortung problematisch erscheinen. Sie dürfen aber auch nicht überbewertet werden, weil sie immer in Relation zu Alternativen und deren Schwachpunkten gesehen werden müssen. Ausgangspunkt der Befürwortung einer Fondslösung ist die mangelnde Anreizwirkung von individuellen Haftungsansprüchen gegen konkrete Schädiger. Ohne Fonds – oder andere Maßnahmen – werden übermäßige Schäden un kompensiert bei den Geschädigten verbleiben, und zusätzlich fallen Vorsorgeanreize zu gering aus. Fonds können diese Situation sowohl bezüglich der Kostenverteilung als auch bezüglich der Vorsorgeanstrengungen verbessern. Es stellt sich aber die Frage, ob nicht

- das Effizienzziel mit anderen Maßnahmen ko-

stengünstiger erreicht werden kann,

- ein Schadensausgleich kostengünstiger auf anderem Weg realisiert werden kann.

Erwartete Schäden aus Daueremissionen können auch über Instrumente wie Lizenzen oder Abgaben reduziert werden. Allerdings muß dafür die Möglichkeit von Schäden bekannt sein. Sonst besteht die Gefahr, daß Lizenzen oder Abgaben zur Verfolgung von reinen Minimierungsstrategien genutzt werden. Lizenzen und Abgaben können somit die Wirkung von individueller Haftung und die von Fonds bezüglich der Generierung neuen Wissens nicht ersetzen. Sie können nur bekannte, erwartete Schäden steuern. In diesem Fall können ex ante Begrenzungen von Risiken kostengünstiger als Fonds sein. Ein Schadensausgleich kann alternativ zu Zahlungen aus Fonds beispielsweise auch über Krankenversicherungssysteme erfolgen (Karl, 1994). Hier ist der Zusammenhang zwischen Schädiger und Schadensersatz zwar vollkommen zerschnitten. Wenn aber die Ausgleichsfunktion bei Fonds dominiert, weil der Zusammenhang zwischen Einzahlern und Schäden im Fonds sehr unbestimmt ist, kann ein Schadensausgleich durch allgemeine Sicherungssysteme vorteilhaft sein.

Präventivfunktion

Die Präventivfunktion von Fonds wird schon dadurch abgeschwächt, daß die Erhebung risikoproportionaler Beiträge hohe Kosten verursachen kann. Sie wird weiter abgeschwächt, je umfassender der Schadensausgleich über einen Fonds betrieben werden soll. Je vielfältiger die Schadensarten sind, die kompensiert werden sollen, desto undifferenzierter werden die Beitragsleistung sein und desto undifferenzierter die Vorsorgeanreize ausfallen. Die Haftungskollektivierung fördert auch nicht das Lernen in einer Gesellschaft (Ladeur, 1993). Eine individualisierte Haftung setzt Anreize für den einzelnen potentiellen Schädiger, sein Wissen um mögliche Schadeffekte und Vorsorgemaßnahmen zu aktivieren und auszubauen. Versicherungen sammeln aus unterschiedlichen Erfahrungsquellen Wissen um Schadensursachen und Vorsorgemaßnahmen und können dieses Wissen in prämiensenkenden Anforderungen an potentielle Schädiger weitergeben. Wissen wird damit individuell erzeugt, zentralisiert gesammelt und weitergereicht. Auch von speziellen Fonds (z. B. für bestimmte Luftschadstoffe) können Lerneffekte ausgehen. Wenn einzelne Fondsmitglieder Beitragssenkungen erreichen können, indem sie neue Organisationsformen und Techniken entwickeln, die zu einer Risikoreduzierung führen, profitieren davon im Lauf der Zeit auch andere potentielle Schädiger. Des weiteren können in spezifischen Fonds Erfahrungen über mögliche Schadeffekte von Stoffen und Schadensursachen gesammelt und an

Fondsmitglieder weitergegeben werden. Auch davon profitieren Gesellschaften im Lauf der Zeit. Umfassende Fonds, in die viele potentielle Umweltbelasteter Beiträge einzahlen und aus denen eine Vielzahl von Schäden ohne nähere Kenntnis von Zusammenhängen ausgeglichen werden, fördern nicht das Lernen. Vielmehr fördern sie ein Freifahrerverhalten. Gleiches gilt, wenn in spezialisierten Fonds Anreize fehlen, risikoreduzierendes Verhalten zu belohnen. Fonds können somit kein Ersatz für eine individualisierte Haftung sein (Rehbinder, 1992b). Ihnen kann nur eine ergänzende Funktion in Bereichen zukommen, in denen individualisierte Haftung versagt.

Selbst hier ist aber zu prüfen, ob noch eine Effizienzsteigernde Funktion von den Fonds ausgeht. Wenn ihnen nur eine Ausgleichsfunktion zukommen soll, muß geprüft werden, welche Effizienzmindernenden Effekte davon möglicherweise ausgehen. Würde beispielsweise die Zahlung in den Fonds positiv mit der Höhe von Zahlungen für Individualversicherungen verknüpft – weil davon ausgegangen wird, daß eine hohe Prämie ein hohes Risiko signalisiert –, kann es zu erheblichen Anreizverzerrungen kommen, weil ein hohes Risiko im versicherten Bereich eben nicht auch auf ein hohes Risiko im Zusammenhang mit haftungsrechtlich nicht erfaßbaren Risiken schließen läßt (Ladeur, 1993). Damit wird dann aber die Aufnahme versicherungsfähiger Aktivitäten auch von Zahlungsverpflichtungen an einen Fonds abhängig.

Umweltgenossenschaften

Eine Alternative zu Haftungsfonds stellen Umweltgenossenschaften dar (Kloepfer, 1988; Rehbinder 1992b und c; Wagner und Janzen, 1994). Umweltgenossenschaften übertragen das Modell des Arbeitsschutzes der deutschen Sozialversicherung auf den Umweltschutz. Der große Vorteil gegenüber Fonds wird darin gesehen, daß Genossenschaften die Möglichkeit haben, Überwachungen durchzuführen und technische Normen zwangsweise zu setzen, während Fonds auf monetäre Anreize, Risikoabschätzungen und Beratungen verwiesen sind. Fraglich ist aber, ob die Erfolge der genossenschaftlichen Lösung im Arbeitsschutz ohne weiteres auch für den Umweltschutz außerhalb eines Unternehmens erwartet werden können. Umweltbelastungen sind im Gegensatz zu Belastungen am Arbeitsplatz externalisierte Kosten, die zudem vielfach kaum einem Unternehmen zugerechnet werden können. Die Erhaltung der Arbeitskraft kann dagegen durchaus im Interesse des Unternehmens liegen, und Zusammenhänge zwischen Schäden und Arbeitsort lassen sich vielfach relativ leicht herstellen, so daß beim Arbeitsschutz Präventionsanreize bestehen. Bei stofflich bedingten Schäden zeigen sich aber bereits Probleme, wenn

diese längerfristig auftreten und sich somit Nachweisschwierigkeiten ergeben (Rehbinder, 1992c). Darüber hinaus ist der Kreis der Anspruchsberechtigten bei einer Umweltgenossenschaft wesentlich größer als bei einer Berufsgenossenschaft: Er umfaßt potentiell die gesamte Bevölkerung. Damit treten im Vergleich zu Berufsgenossenschaften erhebliche Organisationsprobleme auf. Zudem zeigen sich Interessengegensätze nicht wie beim Arbeitsschutz zwischen Akteuren, die in einer Einheit organisatorisch verbunden sind, so daß ungelöste Konflikte zum beiderseitigen Nachteil sind, sondern zwischen externen Geschädigten auf der einen und Unternehmer und Beschäftigten auf der anderen Seite. Kooperation wird dadurch erschwert. Vorteile der Genossenschaftslösung im Arbeitsschutz, wie Nähe zu risikobestimmenden Organisationsstrukturen, Produktionsverfahren und Stoffen und die damit verbundenen Informationsvorteile für die Geschädigten, kommen beim unternehmensexternen Umweltschutz nicht zur Geltung.

4 Genehmigungsverfahren

Die Genehmigung ist ein traditionelles Instrument präventiver staatlicher Kontrolle. Sie wird je nach Rechtsgebiet und Funktion auch als Erlaubnis, Bewilligung oder allgemeiner als Zulassung bezeichnet. Aus dem deutschen Umweltrecht sind Genehmigungsverfahren nicht hinwegzudenken. Aber auch an Genehmigungen aus anderen Rechtsgebieten, wie an die Baugenehmigung, ist zu denken, da bei ihrer Erteilung umweltrelevante Gesichtspunkte zu berücksichtigen sind (Wahl, 1994). Umgekehrt können für einen Sachverhalt u. U. auch mehrere Genehmigungen erforderlich sein.

Bei der Genehmigung handelt es sich um eine generelle Eröffnungskontrolle: Ohne die Genehmigung ist ein bestimmtes Verhalten verboten, ohne daß das jeweilige Verhalten deshalb automatisch als rechtlich unerwünscht zu betrachten ist. Der Verwaltung soll dadurch lediglich Raum für ein Kontrollverfahren (Genehmigungsverfahren) gegeben werden, in dem es die Übereinstimmung des Verhaltens mit den dafür geltenden gesetzlichen Bestimmungen überprüfen kann. Genehmigungsbedürftig können z. B. die Errichtung und/oder der Betrieb einer Anlage aber auch das Inverkehrbringen eines Produkts sein (Wahl, 1994). Als Oberbegriff hat sich der Begriff „Vorhaben“ gebildet. Die Genehmigung hat direkte steuernde Wirkung auf den einzelnen und dient somit der vorhaben- bzw. fallbezogenen Verwirklichung umweltrechtlicher Vorgaben (Erbguth, 1988). Die planerischen Instrumente dienen im Gegensatz dazu nicht der Risikosteuerung im Einzelfall, sondern der strategischen Risikobewältigung und nehmen neben den Genehmigungen eine bedeutende Funktion wahr, nicht zuletzt weil planerische Vorgaben im Genehmigungsverfahren zu berücksichtigen sind. Das Genehmigungserfordernis stellt sich aus der Sicht des Antragstellers nicht nur als nachteilig dar: Solange eine Genehmigung existent ist, also nicht widerrufen oder zurückgenommen ist, gibt sie dem Vorhaben eine eigenständige konstitutive Grundlage; sie sichert das Vorhaben in einem bestimmten rechtlichen Umfang ab (Wahl, 1994).

Nach der Entscheidungsstruktur lassen sich 3 Typen von Zulassungen unterscheiden (BMU, 1998):

- die sog. gebundene Genehmigung, bei der ein Anspruch auf Erteilung der Genehmigung besteht, wenn alle Genehmigungsvoraussetzungen erfüllt werden (v. a. bei der Zulassung von Industrieanlagen, BImSchG).
- Genehmigungen, deren Erteilung auch bei Erfüllung aller Genehmigungsvoraussetzungen im pflichtgemäßen Ermessen der Behörde steht (z. B. die wasserrechtliche Erlaubnis bzw. Bewilligung und die Genehmigung kerntechnischer Anlagen).
- Die Planfeststellung, die v. a. bei der Zulassung von raumbeanspruchenden Vorhaben der öffentlichen Infrastruktur vorgesehen ist und dafür eventuell erforderliche Enteignungen ermöglicht; hier gilt das Gebot einer gerechten Abwägung der von den Vorhaben berührten öffentlichen und privaten Belange.

Das Planfeststellungsverfahren wird aufgrund des für die Verwaltung bestehenden planerischen Gestaltungsspielraums z. T. den Planungsinstrumenten zugeordnet. Der Unterschied zur Planung im eigentlichen Sinn besteht aber darin, daß der Planfeststellungsbeschluß über die Durchführung des konkreten Vorhabens entscheidet (Erbguth, 1988). Die Einzelfallentscheidung als Abschluß der Planfeststellung rechtfertigt die Zuordnung zu den Genehmigungsverfahren. Ohnehin haben sich Genehmigungs- und Planfeststellungsverfahren im geltenden Recht bereits weitgehend angeglichen (BMU, 1998).

Wichtige Elemente der einzelnen Genehmigungsverfahren sind: typischerweise umfangreiche Vorlagepflichten des Antragstellers, Bestimmung des voraussichtlichen Untersuchungsrahmens (§ 5 UVPG), Bekanntmachung des Vorhabens, Auslegung der Unterlagen, Beteiligung der von der Genehmigung berührten Behörden, Erörterungstermin mit Äußerungsmöglichkeit von Einwendern (Wahl, 1994).

Zwar lassen sich die bestehenden Genehmigungen im Umweltrecht durchaus typisieren, aber in der konkreten Ausgestaltung der Verfahren bestehen z. T. so große Differenzen, daß mit Recht von einer Zersplitterung des Verfahrensrechts die Rede ist (BMU, 1998). Zumal für größere Vorhaben eine Vielzahl von Genehmigungen erforderlich ist, die unter-

schiedlichen Verfahrensregelungen unterliegen können, so daß die Zersplitterung zu Reibungsverlusten beim Vollzug und zu Koordinationsproblemen in parallelen Zulassungsverfahren führt. Novellierungen verschiedener Gesetze tragen ein übriges dazu bei, um die Rechtsunsicherheit bei den Vollzugsbehörden und den privaten Normadressaten zu fördern. Die Zersplitterung der Genehmigungen ist keine Eigenheit des deutschen Rechts und auch in anderen Ländern problematisch. In Kalifornien werden z. B. Genehmigungen für industrielle und gewerbliche Anlagen, von denen Luftverunreinigungen ausgehen, nicht für die Anlage insgesamt, sondern für jede einzelne Maschine oder Einrichtung erteilt. Nicht selten sind 100 und mehr Luftverschmutzungsgenehmigungen notwendig (Jarass, 1993).

Reformvorschläge

Als reformbedürftig werden in Deutschland z. Z. besonders 2 Punkte diskutiert: die Dauer der Verfahren und die sektorale Ausrichtung der Genehmigungen. Von den zahlreichen Vorschlägen zur Beschleunigung der Zulassungsverfahren sind viele durch die Gesetzgebung bereits umgesetzt worden. Der Erlaß der einschlägigen Beschleunigungsgesetze ist aber nicht ohne Kritik geblieben (BMU, 1998). Im Hinblick auf die risikosteuernde Wirkung des Instruments Genehmigung interessiert aber v. a. die Überwindung der sektoralen Ausrichtung der Genehmigungen und die damit einhergehende Vielzahl der erforderlichen Genehmigungen. Die medienübergreifende Betrachtung von Umweltbelangen hat durch das UVP-Gesetz Einzug in das deutsche Genehmigungsrecht gehalten. Die EG-rechtlichen Vorgaben haben damit bereits zur Vereinheitlichung bestimmter Verfahrensabschnitte geführt. Die Umsetzungsverpflichtung bezüglich der IVU-Richtlinie übt einen weiteren Anreiz zur Integrierung der bestehenden Genehmigungsverfahren aus.

Vor diesem Hintergrund ist der Reformvorschlag der unabhängigen Sachverständigenkommission zu einem Umweltgesetzbuch zu sehen, der von einer integrierten Vorhabengenehmigung als Grundmodell ausgeht (§§ 82ff UGB-KomE). Die Prüfung umweltschutzbezogener Fragen und die Entscheidung darüber sollen in ein einheitlich gestaltetes Verfahren integriert werden. Es handelt sich damit sowohl um eine verfahrensrechtliche als auch medienübergreifende Integration. Dadurch soll es möglich werden, die Ergebnisse der UVP, die eine umfassende und medienübergreifende Prüfung der Umweltauswirkungen eines Vorhabens unter Beteiligung der Öffentlichkeit verlangt, vollständig in der Entscheidung über die Vorhabengenehmigung zu berücksichtigen (BMU, 1998).

Die Uneinheitlichkeit der unterschiedlichen Genehmigungsverfahren ist nur z. T. auf sachliche Gründe zurückzuführen und beruht im wesentlichen auf historischen Umständen, wurden doch riskante Vorhaben sukzessiv nach entstehendem Handlungsbedarf einer gesetzlichen Regelung unterworfen. Bei der Orientierung am konkreten Handlungsbedarf konnte die Beachtung der Gesamtwirkung der unterschiedlichen Genehmigungsverfahren nur in den Hintergrund treten.

Nach Ansicht der unabhängigen Sachverständigenkommission lassen sich die umweltrechtlichen Genehmigungsverfahren durchaus auf einen Grundtyp, die (integrierte) Vorhabengenehmigung, zurückführen. Je nach den spezifischen Eigenheiten des Vorhabens läßt sich die Vorhabengenehmigung als gebundene (§§ 83ff UGB-KomE), planerische (§§ 101f UGB-KomE) oder einfache Vorhabengenehmigung (§§ 109f UGB-KomE) ausgestalten. Innerhalb dieser 3 Varianten kann je nach Bedarf weiter differenziert werden. Damit wird zwar wieder eine gewisse Vielfalt eingeführt, aber die bestehende Vielfalt wird um historisch bedingte Eigentümlichkeiten bereinigt. Der Vorteil gegenüber der bestehenden Rechtslage liegt nicht nur in einer bloßen Systematisierung als Selbstzweck, sondern in der Zusammenführung und Angleichung der geltenden Verfahren. Dies hat den Vorteil, daß die Transparenz für den Antragsteller (aber auch für die Verwaltung) steigen und leichter nachzuvollziehen ist, ob aus sachlichen Gründen differenziert wurde. Es geht kurzum um die Vereinfachung des Genehmigungsrechts durch Systematisierung, Harmonisierung und Vereinheitlichung (Koch, 1996).

- Bei der als „Normalfall“ zu bezeichnenden gebundenen Vorhabengenehmigung besteht bei Erfüllung der Anspruchsvoraussetzungen eine Pflicht der Behörde, das Vorhaben zu genehmigen.
- Die planerische Vorhabengenehmigung ist für besonders wichtige Vorhaben wie Endlager für radioaktive Abfälle, Abfalldeponien oder den Ausbau von Gewässern erforderlich. Gem. § 102 UGB-KomE tritt ein Abwägungsgebot hinzu: Die durch das Vorhaben berührten Belange einschließlich der Auswirkungen auf die Umwelt müssen ermittelt und untereinander abgewogen werden, das Vorhaben muß im öffentlichen Interesse erforderlich sein und nach Einschätzung der Behörde müssen die für das Vorhaben sprechenden Belange überwiegen (Kloepfer und Durner, 1997).
- Die einfache Vorhabengenehmigung ist für jene Vorhaben vorgesehen, die nach Art, Ausmaß und Dauer der nachteiligen Auswirkungen mit dem Schutz der Umwelt und des Menschen vereinbar sind und so eine Genehmigung unter vereinfach-

ten Anforderungen zulassen (§ 109 Abs. 1 UGB-KomE). Sie kann nur erteilt werden, wenn dies durch eine Rechtsverordnung bestimmt wurde, und nur für eine bestimmte Reihe von Vorhaben vorgesehen werden, so z. B. für immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Anlagen, gentechnische Anlagen der Risikostufe 2–4 sowie die Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen.

Die Auswahl und Ausgestaltung staatlicher Kontrollinstrumente liegen in der Souveränität jedes einzelnen Staats. Den Sonderfall der Europäischen Union ausgenommen, ist an eine internationale Vereinheitlichung von Genehmigungsverfahren (noch) nicht zu denken. Um so mehr sollte die mögliche Vorbildwirkung einer vereinheitlichten Vorhabengenehmigung nicht unbeachtet bleiben. Die Pflicht zur Instrumentalisierung der Umweltverträglichkeitsprüfung und die Umsetzung der IVU-Richtlinie sind Aufgaben, die auch in den anderen Mitgliedstaaten der EU einen Reformdruck ausüben. Aber auch in anderen Ländern stellt sich die Frage, ob die historisch (an)gewachsene Vielzahl von Genehmigungsverfahren nicht einem einheitlichen Konzept weichen sollte, um Transparenz und Rechtssicherheit zu gewährleisten und damit letztlich die Effizienz des Instrumentes zu erhöhen. Die Vorhabengenehmigung könnte, unter Vorbehalt der spezifisch deutschen Rechtslage, auch andere Länder zu einer Vereinheitlichung ihrer Genehmigungsverfahren anregen. Die Verwirklichung materieller Vorgaben (auch internationaler Standards) erfolgt zu einem großen Teil über das Genehmigungsverfahren. Aus diesem Grund haben Vereinheitlichungen auch internationale Bedeutung. Die Umsetzung materieller Standards, denen formelle Regelungen schließlich dienen, führt international zu einer Verbesserung der Vergleichbarkeit.

5.1 Risikoprämien und umweltrelevante Innovationen

Die meisten der in diesem Abschnitt zur Risikopolitik erörterten Instrumente wurden unter dem Aspekt hervorgehoben, daß sie offensichtlich einen Beitrag zur Risikopolitik leisten können. Daneben ist aber zu prüfen, inwieweit auch die üblichen Instrumente der Umweltpolitik wie Ordnungsrecht, Umweltabgaben und Zertifikatelösungen einen Bezug zu den Zielen der Risikopolitik aufweisen. Für das weltweit dominierende Instrument des Ordnungsrechts geschieht dies in Kap. F 4. Im folgenden wird kurz diskutiert, inwieweit die ökonomischen Anreizinstrumente (Umweltabgaben und Zertifikate) risikopolitisch relevant sind. Das Ordnungsrecht wird hier nur insoweit angeführt, wie es als Referenzrahmen für die Darstellung der Vorteile von ökonomischen umweltpolitischen Instrumenten dient.

Umweltabgaben und Zertifikate dienen der Reduzierung von Emissionen. Damit zielen sie nicht unmittelbar auf Risiken, wie dies etwa durch das Haftungsrecht geschieht. Risiken sind aber insoweit betroffen, wie sie auf Emissionen beruhen, sei es, daß die einzelne Emission im Weg einer Dosis-Wirkungs-Beziehung zu bisher unbekanntem Belastungen führt, sei es, daß Kumulations- und Synergierisiken zu befürchten sind. Der risikopolitische Ansatzpunkt für Umweltabgaben und Zertifikate sind also typischerweise die von Emissionen ausgehenden Risiken. Damit konzentrieren sich die Überlegungen auf die Risikotypen Pandora, Pythia und Cassandra.

5.1.1 Kennzeichnung ökonomischer Anreizinstrumente

Während bei ordnungsrechtlichen Lösungen in der Regel eine bestimmte Handlungsalternative vorgeschrieben wird, zeichnen sich ökonomische Anreizinstrumente dadurch aus, daß sie die Kosten- und Nutzengrößen von Handlungsalternativen beeinflussen. Die Handlungsentscheidung verbleibt bei den Indi-

viduen und wird auf Basis der veränderten Kosten-Nutzen-Relationen getroffen (Michaelis, 1996). Somit überlassen ökonomische Anreizinstrumente den Individuen einen größeren Handlungsspielraum bei der Umsetzung umweltschutzrelevanter Maßnahmen.

Als Ansatzpunkt für ökonomische Anreizinstrumente dient der Preis, der für die Umweltnutzung zu zahlen ist. Über eine solche „Bepreisung“ der Umwelt soll das Verhalten der Individuen in Richtung mehr Umweltschutz gelenkt werden. Aus diesem Grund werden ökonomische Anreizinstrumente auch als pretiale Lenkungsinstrumente bezeichnet.

Unter den ökonomischen Anreizinstrumenten werden in der Regel 3 hervorgehoben:

1. Umweltabgaben verteuern unmittelbar umweltrelevante ökonomische Aktivitäten wie die Emission von Schadstoffen und setzen somit direkt am Preis an.
2. Zertifikate limitieren die Schadstoffmenge, die in die Umwelt abgegeben werden darf, und beeinflussen somit über die Beschränkung der zulässigen Schadstoffmenge den Preis für die Nutzung der Umwelt.
3. Des Weiteren kann man in Gegenüberstellung zum Ordnungsrecht auch das Haftungsrecht hierzu zählen (Zimmermann, 1984), das an anderer Stelle erörtert wird (Kap. F 2 und G).

Der Vollständigkeit halber seien auch noch Subventionen als umweltpolitisches Instrument erwähnt, die bei einer modelltheoretischen Analyse die gleichen Anreizwirkungen wie Umweltabgaben entfalten. In der umweltpolitischen Praxis zeigen sich allerdings erhebliche Unterschiede, denn auf längere Sicht werden Marktsignale verfälscht, da sich die Preisrelationen zugunsten der umweltverschmutzenden Branchen verändern (Cansier, 1996). Mit Hinblick auf den Abbau umweltschädlicher Subventionen oder den Einsatz von Subventionen in der Forschungspolitik ergeben sich noch weitere Ansatzpunkte für eine Verknüpfung von Subventionspolitik und rationaler Risikopolitik. Eine solche Diskussion würde allerdings den Rahmen dieses Kapitels über ökonomische Anreizinstrumente sprengen.

Kasten F 5.1-1

Risiken für eine nachhaltige Nutzung durch falsche institutionelle Regelungen: Rattanproduktion in Ost-Kalimantan

Ausgangslage

Mit „Rattan“ werden verschiedene Palmen der Gattung *Calamus* oder verwandter Arten umschrieben. Zugleich werden damit die harten Stammteile solcher Palmen und die daraus angefertigten Möbel, Geflechte, Spazierstöcke usw. bezeichnet. Die verschiedenen Arten und ihre Verwendungen werden in die beiden Gruppen über bzw. unter 18 mm Stammstärke eingeteilt. Die größeren Durchmesser finden v. a. für Möbel (Rahmen) und Kunsthandwerk Verwendung, die kleineren Durchmesser für Teppiche (z. B. japanische Tatami) und Geflechte, beispielsweise für die Bespannung von Stühlen oder Wänden.

In Ost-Kalimantan, einer der 4 indonesischen Provinzen auf Borneo, dominiert der Typ „Sega“ (*Calamus caesius*) mit einem Durchmesser von 7–12 mm. Ost-Kalimantan hat einen Anteil von 10–15% (20.000–30.000 t Jahr⁻¹) an der gesamten indonesischen Produktion von Rohrattan (1996 auf knapp 200.000 t geschätzt), 80% der Ernte entstammen dort angepflanzten „Rattangärten“, während 20% im Wald gesammelt werden, wie dies auch für die meisten Arten mit größerem Durchmesser gilt, die insbesondere von Sumatra und Sulawesi stammen.

Die Rattanproduktion in Ost-Kalimantan ist in allen 3 Dimensionen von Nachhaltigkeit weitestgehend positiv zu beurteilen. Ökologisch ist sie im Vergleich mit anderen kommerziellen Nutzungen der Waldfläche (Brandrodung, Plantagen usw.) auch in der Form der Rattangärten sehr schonend. Bei den gesammelten Arten im Naturwald – v. a. bei den größeren Abmessungen auf Sulawesi – kamen gelegentlich Übernutzungen vor. Ökonomisch ist diese Produktion aussichtsreich, weil sie in Nutzungen eingeht, die sowohl in den Entwicklungsländern als auch in Industriestaaten Absatzmärkte finden. Sozial ist die Nutzung insofern, als sie fast ausschließlich durch viele kleine bäuerliche Betriebe erfolgt, nicht zuletzt in dieser Region von solchen Familien, die sonst fast keine alternative Einkommensquelle hätten.

Produktion und Absatz hatten sich bis zu den Politikänderungen von 1986/1988 sehr positiv entwickelt. Die Preise für Rattanrohmaterial nach der ersten Behandlungsstufe (gewaschen, getrocknet und zum großen Teil auch geschwefelt) hatten sich zwischen 1976 und 1986 verachtfacht, und zwar schon bis 1981, so daß mehrere Jahre mit hohen Exportpreisen die Produktion und die Einkommenserzielung angeregt hatten. Für Sega in guter Qualität wurde 1987–1988 ein Äquivalent von 0,45 US-\$ gezahlt. Der Export des Rohmaterials erfolgte weitgehend unmittelbar vom Hafen Samarinda, wo 1986 noch 13 exportorientierte Rattanunternehmen tätig waren. Zugleich ging der größere Teil der Produktion in die Herstellung von Teppichen durch Unternehmen in Süd-Kalimantan, wo damals 20.000 Beschäftigte gezählt wurden.

Institutionelle Neuregelungen

Im Oktober 1966 wurde der Export aller Arten von Rohrattan verboten. Daraufhin stieg der Export von halbfertigen Produkten von 20.000 t 1985 auf über 130.000 t 1987 (ASMINO-Statistik). Es wurde berichtet, daß eigenartig grobe Riesenkörbe aus Rattan als „Fertigprodukte“ exportiert wurden, die an den Bestimmungsorten (z. B. China) wieder „entflochten“ wurden, um das Ausgangsmaterial anderen Fertigprodukten zuzuführen (Haury, persönliche Mitteilung).

Daraufhin wurde im Juni 1988 das Exportverbot auf halbfertige Produkte ausgedehnt, und 1992 wurde das Exportverbot in Exportsteuern umgewandelt, die von 10–15 US-\$ kg⁻¹ reichten, und, bezogen auf den Exportpreis, bis zu 2.300% betragen, was praktisch weiterhin einem Verbot gleich kam.

Alle diese Maßnahmen sollten dazu dienen, das Rattan, bei dem Indonesien eine sehr starke Weltmarktstellung hatte, in Verwendungen mit höherer inländischer Wertschöpfung zu überführen. Tatsächlich wurden in diesen Jahren auf Java 250 zusätzliche Produktionseinheiten mit einer Gesamtbeschäftigung von ca. 70.000 Menschen in Cirebon, Surabaya und Jakarta errichtet. Diese neuen inländischen Industrien konnten aber die großen Mengen an rohem und halbfertigem Rattan, die bis 1986 bzw. 1987 exportiert worden waren, bei weitem nicht aufnehmen. Zwar gelang dieser geplante Wechsel vom früheren Exportmarkt für rohe und halbfertige Produkte zu einer exportorientierten heimischen Rattanmöbelindustrie in gewissem Maß, aber insgesamt sanken die im Inland abgenommenen Mengen an Rohrattan massiv. Ursache war in erster Linie der extreme Exportzoll.

Folgen

Als Folge dieser Entwicklungen begannen die Preise der meisten Rattanarten, besonders derjenigen mit kleinem Durchmesser wie Sega, zu fallen. 1997 fielen die Erzeugerpreise für Sega auf ein Niveau von nur 31% der Preise von 1989. Wenn man die Abwertung der Rupie hinzunimmt, waren es im Juni 1997 nur 21%, und bis 1998 muß der Wert noch deutlich abgesunken sein. Der Preisverfall kann nicht insgesamt nur dem Exportzoll zugerechnet werden, weil in der Zwischenzeit für die Rattanteppichindustrie in Süd-Kalimantan Exportlizenzen (Quotensystem), also quantitative Restriktionen eingeführt wurden, und weil zugleich auch die Nachfrage aus Japan als dem Hauptabnehmerland für diese Produkte deutlich nachgelassen hatte. Daß dieser Nachfrageausfall aber nur einen – wahrscheinlich eher kleineren Teil – erklärt, zeigt sich an dem rapide gestiegenen illegalen Export. 1997 hat der Schmuggel von Rohrattan mit einem geschätzten Anteil von 30% der gesamten indonesischen Rohmaterial-Produktion einen Höchststand erreicht. Er erfolgt zum größten Teil über den malaysischen Teil von Borneo, v. a. über das dortige Tawan/Sabah, das dem indonesischen Numukan gegenüberliegt. Dort verkaufen die Schiffer das an den indonesischen Küsten von Kalimantan angekaufte Rattan. Über die Gesamtheit dieser Importe wird in Malaysia sogar eine Statistik geführt (MIDA, o.J.). In Malaysia wird kein Importzoll erhoben (Druba, persönliche Mitteilung), allerdings darf das Rattan auch nur wieder ausgeführt werden, wenn es weiterbearbeitet worden ist – größere Abmessungen geschliffen (polished) und kleinere gespalten (split).

Obwohl also der Export von rohem oder halbfertigem Rattan aus Indonesien durch den prohibitiv hohen Exportzoll praktisch verboten war, ließ sich 1997 doch eine entsprechende internationale Wertschöpfungskette zurückverfolgen (Haury, persönliche Mitteilung). Demnach stammt Halbmaterial (polished, split und Gewebe), das auf Messen (u. a. INTERZUM) in Deutschland von europäischen Händlern angeboten wurde, offensichtlich aus indonesischer Ernte. Dieses Halbmaterial war in China oder – bei besonders hohen Qualitätsanforderungen – auch in Singapur verarbeitet worden. Dorthin war es meist aus Tawan, Malaysia, geliefert worden, wo Bearbeitungsstufen wegen der erwähnten malaysischen Vorschriften durchgeführt worden waren. Herkunftsland des Rattans war aber letztlich Indonesien. Dort muß der frisch geerntete, sehr feuchte Rat-

tan lediglich einigen ersten Bearbeitungsschritten unterzogen werden, um Pilz- bzw. Insektenbefall vorzubeugen.

Der hierin sichtbar werdende enorme Schmuggel war eindeutig eine Folge der 1986–1992 geänderten institutionellen Regelungen. Der Export von Rohrattan war also weiterhin erfolgt, nur nicht mehr über die offiziellen Kanäle. Der Schmuggel hat zwar in manchen Gebieten zu einer gewissen Stabilisierung der sehr niedrigen Erzeugerpreise beigetragen, doch der illegale Export hatte zweifellos seinen „Preis“ u. a. durch Schutz- und Bestechungsgelder, im Vergleich mit einem geordneten Exportgeschäft der vorher zahlreichen miteinander in Konkurrenz stehenden Exportfirmen.

Der Effekt des Schmuggels (anstelle des legalen Exports) ist aber nur ein Element in der Wirkungskette, der zu den negativen Folgen für die Rattanproduzenten führte. Im Vordergrund steht der Einbruch der Exportmöglichkeit bei Rohmaterial und Halbfabrikaten, der durch die Maßnahmen von 1986–1992 hervorgerufen wurde und durch die nachlassende Nachfrage nach Lampit aus Japan seit Einführung der Exportlizenz (1988–1989) und nach anderen Fertigprodukten seit 1996–1997 aus den asiatischen Ländern verstärkt wurde.

Für die Rattanproduzenten, also die zahlreichen kleinbäuerlichen Betriebe, waren die Folgen verheerend. Der Erzeugerpreis war zu gering, so daß die Bauern ihre Rattanbestände eher als eine Rücklage betrachteten (in der Hoffnung, daß die Qualität des Rattans sich in der Zwischenzeit nicht verschlechterte). Wo allerdings interessante Angebote

für die Landfläche gemacht wurden, wurden Rattangärten auch verkauft, und es sind auch Fälle bekannt, in denen Bauern mehr oder weniger gezwungen wurden, ihre Gärten in Plantagen für Ölpalmen oder Industrieholz umzuwandeln. Nicht zuletzt nehmen seitens der verarmten Bauern der illegale Holzeinschlag und die Wilderei bei seltenen Vögeln zu, um das Einkommensniveau auf dem ohnehin geringen Stand zu halten.

Die großen Risiken für die ökonomische Position der unterprivilegierten Landbevölkerung im Sinn einer nachhaltigen Produktion (Rattan) und natürlich auch für die Biodiversität zeigen, wie eine einzige falsche Regelung die Nachhaltigkeit in der ökologischen, ökonomischen und sozialen Dimension gleichzeitig gefährden kann.

Aussichten

Der Internationale Währungsfonds (IWF) hat bewirkt, daß die Exportsteuer ab 1.3.1998 auf 10% gesenkt werden soll (Jakarta Post, 1998). Wenn die geplante Senkung der Exportsteuer wirksam geworden ist (bis Ende März 1998 fehlte noch die Ausführungsbestimmung), wird sich zeigen, wie lange es dauert, die verlorenen Exportmärkte – nicht zuletzt in Zeiten einer sehr schlechten Wirtschaftslage in Ostasien – zurückzuerobern. Jedenfalls dürfte sich der Schmuggel nicht mehr lohnen, so daß der Preisdruck durch die aufgrund der Illegalität sicherlich besonders hohe Händlerspanne zurückgehen dürfte. Auch wird sich dann zeigen, wieviele der Rattangärten noch bestehen und in welchem Zustand sie sind, weil über die Haltbarkeit von länger nicht geerntetem Rattan wenig bekannt ist.

Als Beispiel für abzubauen umweltschädliche Regelungen kann der indonesische Exportzoll von 2.300% auf Rattan gelten, der verheerende Auswirkungen auf die nachhaltig betriebene Produktion dieses Naturprodukts hat (Kasten F 5.1-1). Hierbei handelt es sich zwar nicht um eine Subvention, dennoch verdeutlicht dieses Beispiel, daß es umweltpolitisch oft besonders zielführend ist, wenn bestehende negative Anreize – wie es bei vielen Subventionen oder hier bei Zöllen der Fall ist – abgeschafft werden.

5.1.2

Anwendung ökonomischer Anreizinstrumente

Risikopolitische Bedeutung erhalten die ökonomischen Anreizinstrumente insbesondere hinsichtlich ihres (potentiellen) Beitrags zu den beiden folgenden Ansätzen, die eine Umweltpolitik unter Unsicherheitsbedingungen verfolgen kann (Wätzold, 1997; Wätzold und Simonis, 1997):

1. Ansatz der allgemeinen Risikoprämie: Bei diesem Ansatz wird der Unsicherheitsaspekt dadurch berücksichtigt, daß in die Bewertung der Umweltqualität eine sog. Risikoprämie einfließt und somit eine höhere Umweltqualität angestrebt wird als bei sicheren Informationen über die Folgen menschlicher Eingriffe in die Natur. Die zentrale Aussage lautet, daß „bei Risikoaversion verbun-

den mit ökologischer Unsicherheit ein geringerer Natureingriff empfohlen wird als bei ökologischer Sicherheit“ (Wätzold, 1997). Weil Umweltrisiken die Umwelt in der Zukunft knapper machen, kann eine höhere Umweltqualität als eine Art Versicherung gegen Umweltrisiken betrachtet werden (Siebert, 1987a). Mit Blick auf diesen Ansatz ist also zu untersuchen, ob mit der Anwendung ökonomischer Anreizinstrumente für die Gesellschaft als ganzes eine Risikoprämie erzielt werden kann.

2. Ansatz der innovationsorientierten Umweltpolitik: Das Ziel von innovationsorientierten Ansätzen in der Umweltpolitik ist es, durch die Anregung umwelttechnischen Fortschritts Emissionen zu verringern. Die zu untersuchende Fragestellung unter diesem Ansatz lautet demnach: Welche Effekte üben ökonomische Anreizinstrumente auf das Innovationsverhalten der Wirtschaftssubjekte aus?

5.2 Risikoprämien und umwelttechnischer Fortschritt

5.2.1 Ordnungsrecht

Üblicherweise werden die Vorteile der ökonomischen Anreizinstrumente vor dem Hintergrund des Ordnungsrechts diskutiert (Endres, 1997). Weil das Ordnungsrecht bei der Festlegung bestimmter Emissionsstandards nicht nach den Vermeidungskosten, die für die Unternehmen bei der Emissionsreduktion entstehen, differenziert, wird ein umweltpolitisches Ziel nicht zu den volkswirtschaftlich niedrigsten Kosten erreicht. Neben dieser statischen Ineffizienz ist das Ordnungsrecht auch nicht als dynamisch effizient zu bewerten, denn es gehen vom Ordnungsrecht keine Anreize aus, die Emission unter die erlaubte Restverschmutzung zu senken und den vorgeschriebenen Stand der Technik weiterzuentwickeln, also innovativ zu sein. Vielfach werden ordnungsrechtliche Lösungen sogar dahingehend kritisiert, daß sie ein „Schweigekartell der Oberingenieure“ bezüglich der technisch machbaren Möglichkeiten zur Emissionsvermeidung begründen.

Diese theoretische Diskussion der Nachteile des Ordnungsrechts ist in der Praxis allerdings zu relativieren, denn vielfach geht auch das Ordnungsrecht nicht völlig undifferenziert vor bzw. es existieren im Rahmen ordnungsrechtlicher Lösungen durchaus Möglichkeiten, dieses umweltpolitische Instrument flexibler auszugestalten, um umwelttechnischen Fortschritt nicht zu behindern oder u. U. sogar anzuregen. Gesetzliche Vorschriften in Deutschland haben in der Tat in den Bereichen Luftreinhaltung, Abfallvermeidung und Abwasserbehandlung den umwelttechnischen Fortschritt in gewissem Maß angeregt. Auch im Bereich der umweltverträglichen Produktentwicklung sind positive Effekte festzustellen. Dennoch kann von einer grundlegenden Überlegenheit ökonomischer Anreizinstrumente bezüglich der Anregung umwelttechnischen Fortschritts, wie unten noch zu zeigen sein wird, ausgegangen werden. Hinzu kommt, daß die Anwendbarkeit ordnungsrechtlicher Vorschriften im globalen Maßstab eher beschränkt sein dürfte.

Zur Erzielung einer allgemeinen Risikoprämie ist das Ordnungsrecht allerdings geeignet. Durch ordnungsrechtliche Maßnahmen kann – zumindest theoretisch – ein nahezu beliebiger Umweltqualitätsstandard erreicht werden, wenngleich die dafür erforderlichen volkswirtschaftlichen Kosten in der Regel höher sein werden als bei ökonomischen Anreizinstrumenten.

5.2.2 Umweltabgaben

Umweltabgaben erfüllen nicht nur das Ziel der statischen Effizienz im Sinn der Minimierung der volkswirtschaftlichen Kosten zur Erreichung einer bestimmten Umweltqualität, sondern auch das Ziel der dynamischen Effizienz. Denn mit jeder Verminderung der emittierten Schadstoffe geht für das Unternehmen ein finanzieller Gewinn in Form der vermiedenen Steuerzahlung einher. Im Gegensatz zum Ordnungsrecht wird umwelttechnischer Fortschritt finanziell belohnt, und die jeweiligen Umweltingenieure in den Unternehmen gelten nicht weiter als bloße „Kostenverursacher“, sondern werden als solche Mitglieder der Unternehmensorganisation betrachtet, die dem Unternehmen finanzielle Vorteile sichern können. Ihre Stellung im Unternehmen ebenso wie die der gesamten Umweltschutzbranche wird also erheblich aufgewertet. Welche innovationsanregenden Effekte von einer konkret ausgestalteten Umweltabgabe ausgehen, muß im Einzelfall untersucht werden, um genauere Aussagen zu erhalten (Zimmermann et al., 1996).

Auf jeden Fall kann festgehalten werden, daß umwelttechnische Innovationen zumindest tendenziell durch Umweltabgaben angeregt werden. Hinsichtlich der Erzielung einer Risikoprämie muß allerdings differenzierter argumentiert werden. Die ökologische Effektivität von Abgabelösungen ist abhängig davon, wie sich die direkte Verteuerung der Umweltnutzung auf das Verhalten der Wirtschaftssubjekte auswirkt. Bei günstigen ökonomischen Rahmenbedingungen können die Unternehmen die betrieblichen Mehrkosten in Form der abzuführenden Umweltabgabe an die Endverbraucher überwälzen. Diese Überwälzung beeinträchtigt zwar nicht die Anreizwirkung bezüglich der Suche nach Maßnahmen zur Emissionsvermeidung (Zimmermann und Henke, 1994). Aber die Effektivität, mit der das vorgegebene ökologische Ziel erreicht werden soll, ist bei einer solchen Konstellation nicht sichergestellt. Eine Beurteilung der Innovationswirkungen von Umweltabgaben muß also unbedingt jeweils am konkreten Beispiel untersucht werden. In diesem Zusammenhang interessieren beispielsweise die Höhe des Steuersatzes oder auch der mögliche Ansatzpunkt für die Abgabenerhebung (input- oder emissionsorientiert).

Einschränkend muß noch bemerkt werden, daß sich risikoreduzierende Wirkungen nur bei den Umwelttrisiken ergeben, bei denen das Wissen über das Risikopotential vorhanden ist. Bei völlig unbekanntem Risiken (Kap. G) wirkt das Konzept der Risikoprämie nicht (Wätzold, 1997). Im Gegensatz zu häufig in der Literatur geäußerten Meinungen können

auch umwelttechnische Innovationen nicht per se als risikoreduzierend angesehen werden. So weist der integrierte Umweltschutz im Gegensatz zu dem Einsatz von End-of-pipe-Technologien zwar den Vorteil auf, daß, weil der gesamte Produktionsprozeß durch eine verbesserte integrierte Prozeßtechnologie umgestellt wird, nicht nur der gewünschte Schadstoff, sondern u. U. auch ein breiteres Spektrum an Schadstoffen reduziert wird. Doch kann nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden, daß durch die Umstellung des Produktionsprozesses neue Schadstoffe entstehen, deren Risikopotentiale unbekannt sind. Somit kann ex ante nicht mit Sicherheit behauptet werden, daß umweltrelevante Innovationen automatisch eine risikoreduzierende Wirkung aufweisen, auch wenn sie prinzipiell natürlich in vielen Bereichen erforderlich und gewünscht sind.

5.2.3

Zertifikatelösungen

Die theoretische Grundkonzeption zur Steuerung der Umweltqualität durch Emissionszertifikate kann wie folgt skizziert werden: Zunächst wird auf politischer Ebene ein Emissionsziel für einen Schadstoff festgesetzt. Anschließend wird diese Schadstoffmenge auf eine begrenzte Anzahl frei handelbarer Emissionszertifikate aufgeteilt. Diese Zertifikate werden an die Emittenten verteilt und berechtigen den Besitzer, eine bestimmte Menge des Schadstoffs zu emittieren. Die Emittenten werden ihre Grenzvermeidungskosten mit dem Marktpreis, der für ein Emissionszertifikat zu entrichten ist, vergleichen und sich entweder für die Emissionsvermeidung oder den Kauf von Zertifikaten entscheiden. Unabhängig davon, wie die Zertifikate an die Emittenten verteilt werden, stellt der sich anschließende Handel mit den Emissionsrechten sicher, daß sich die individuellen Grenzvermeidungskosten angleichen und somit das Kriterium der (statischen) ökonomischen Effizienz erfüllt wird. Da das Zertifikatesystem im Gegensatz zu einer Abgabenslösung nicht vom Preis für eine Emissionseinheit, sondern von der Menge an erlaubten Emissionen ausgeht, wird das Umweltqualitätsziel auf jeden Fall erreicht.

Zudem weisen Zertifikatelösungen sowie Umweltabgaben auch den Vorteil auf, neben der statischen Effizienz auch dynamisch effizient zu sein. So werden, was hier wiederum im Vordergrund steht, weitere Reduktionen durch den möglichen Verkauf von bisher benötigten Zertifikaten finanziell belohnt, so daß ein kontinuierlicher Anreiz zur Suche nach kostengünstigen Reduktionsmaßnahmen besteht (dynamische Effizienz).

Im Gegensatz zu Abgabenslösungen weisen Zertifikate außerdem noch den Vorteil auf, daß sie ökologisch effektiv sind. Weil sie an der Schadstoffmenge ansetzen, können mit Zertifikaten – abgesehen von Meß- und Kontrollproblemen – ein anvisiertes Emissionsziel und damit die gewünschte Umweltqualität erreicht werden. Somit erlauben Zertifikatelösungen eine zielgenauere Ansteuerung einer allgemeinen Risikoprämie als Umweltabgaben.

Wie stark die von Zertifikatelösungen ausgehenden Innovationsanreize sind, ist davon abhängig, wie sich die Preise für die Zertifikate auf den Märkten entwickeln. Diese Preisentwicklung wird wiederum von zahlreichen Einflußfaktoren bestimmt (Anzahl der Marktteilnehmer, Wettbewerbssituation auf den Absatzmärkten, allgemeine konjunkturelle Situation usw.), so daß der Innovationsanreiz stark schwanken kann. Folglich muß auch bei einer Zertifikatelösung eine Einzelfallanalyse durchgeführt werden, um zu genaueren Aussagen zu gelangen. Potentiell positive Wirkungen auf das Innovationsverhalten sind allerdings durchaus zu erwarten. Natürlich können auch bei einer Zertifikatelösung dieselben einschränkenden Argumente bezüglich der risikoreduzierenden Wirkung von umweltrelevanten Innovationen angeführt werden wie bei der Diskussion der Umweltabgabe.

5.3

Fazit

Ökonomische Anreizinstrumente dienen dazu, eine allgemeine Risikoprämie zu erzielen und den umwelttechnischen Fortschritt zu fördern. Während Umweltabgaben ökologische Ziele nicht mit absoluter Genauigkeit erreichen können, wird bei Zertifikaten das anvisierte Emissionsziel auch tatsächlich realisiert. Somit erweisen sich Zertifikate zur Erzielung einer allgemeinen Risikoprämie einer Abgabenslösung als überlegen. Beide Instrumente wirken tendenziell positiv auf die Anregung von umweltrelevanten Innovationen, wobei allerdings einschränkend angemerkt werden muß, daß umwelttechnischer Fortschritt das Auftreten neuer, unbekannter Risiken, die mit Anwendung dieser innovativen Umwelttechnologie einhergehen können, nicht generell ausschließen kann. Somit leisten beide Instrumente, auch soweit sie (wie möglicherweise die Zertifikate) einmal globale Relevanz erhalten, doch nur bedingt einen Lösungsbeitrag zum Umgang mit völlig unbekanntem Risiken. Hierzu sind daher in der Hauptsache andere Instrumente erforderlich (Kap. G).

6 Politische Lösungsstrategien

6.1 Einleitung

Der Beirat hat in den bisherigen Kapiteln gezeigt, daß es nicht *eine* Risikostrategie geben kann. Vielmehr ist jedem Risikotyp mit jeweils spezifischen Maßnahmen politisch zu begegnen. In vielen Fällen sind dezentral wirkende Instrumente wie beispielsweise das Haftungsrecht oder Fonds geeignet, Anreize zur Produktion von Risikowissen und zur Vermeidung von Risiken zu schaffen (Kap. F 2, 3 und 5). Allerdings können solche marktorientierten Instrumente nicht in allen Fällen den erwünschten Erfolg erbringen.

Die Wirksamkeit des Instruments der Haftung, insbesondere ihre Ausgleichsfunktion, ist bei jenen Fällen eingeschränkt, bei denen staatlich gesetzte Haftungsobergrenzen bestehen. Dies ist jedoch kein grundlegender Einwand gegen das Haftungsprinzip, sondern betrifft eher das Problem ökonomisch nicht immer nachvollziehbarer staatlicher Einschränkungen des Haftungsprinzips. Eine andere Begrenzung der Haftung ist möglicherweise deren mangelnde Durchsetzbarkeit, z. B. wegen fehlender rechtsstaatlicher Verfahren. Haftung kann nur dann ihre präventive Wirkung entfalten, wenn die Akteure auch tatsächlich in ihrer Kalkulation damit rechnen müssen, für etwaige Schäden später zur Rechenschaft gezogen zu werden. Typische Faktoren, die die Wirksamkeit des Haftungsrechts einschränken, sind unzureichende Justizverfahren, mangelnde Exekutivkompetenzen oder auch Korruption. In Staaten, in denen dies der Fall ist, ist anzunehmen, daß die dezentralen Akteure nicht von einer späteren Haftpflicht für ihre Tätigkeiten ausgehen müssen. Sie haben deshalb keinen ausreichenden Anreiz zur Produktion von Risikowissen und zur Risikovermeidung.

Aufgrund dieser Grenzen des an sich marktkonformen und sinnvollen Instruments der Haftung muß dieses durch staatliche Initiative flankiert werden, insbesondere bei

- den Risikotypen, in denen eine verursacherorientierte Haftung nicht möglich ist, wie dies zumin-

dest bei Distanz-, Allmählichkeits- und Kumulationsschäden der Fall ist (z. B. Typen Pandora und Cassandra);

- den Risiken des Globalen Wandels, deren Schadensausmaße gegen unendlich streben und bei denen Haftungsobergrenzen gesetzt wurden, die die Wirkung des Haftungsprinzips einschränken,
- in Gesellschaften und Regionen, in denen die institutionellen Voraussetzungen des Instruments der Haftung (noch) nicht gegeben sind.

6.2 Risiken des Globalen Wandels und der Entwicklungszusammenarbeit

Entwicklungszusammenarbeit als Risikopräventionspolitik

Risikovorsorge heißt auch, die Kosten unterlassener Risikominderungspolitik einschließlich der Kosten der Risikominderungspolitik selbst so gering wie möglich zu halten. Dies gilt besonders bei den kumulativen Risiken (wie dem drohenden Klimawandel) und beim Risiko von Ernährungskrisen. Die Widerstands- und Anpassungsfähigkeit der Menschen gegenüber den Risiken des Globalen Wandels zu stärken, ist originäre Aufgabe der Entwicklungszusammenarbeit Deutschlands mit den Staaten Afrikas, Asiens und Lateinamerikas. Derzeit hat die deutsche Entwicklungszusammenarbeit 3 Schwerpunkte: Armutsbekämpfung, Umwelt- und Ressourcenschutz sowie Bildung und Ausbildung.

Im folgenden bewertet der Beirat diese Schwerpunktbereiche unter dem Aspekt der Risikovorsorge und -bewältigung und verdeutlicht den Stellenwert der Entwicklungszusammenarbeit bei der Bewältigung von Risiken des Globalen Wandels. Außerdem gibt er Anregungen, wie die nationale Fähigkeit der Entwicklungsländer, ihre Risiken zu bewältigen, gestärkt werden kann.

Es ist jedoch vorzuschicken, daß von Entwicklungszusammenarbeit *allein* keine Beseitigung oder Abschwächung der wichtigsten Risikoverstärker er-

wartet werden kann. Entwicklungsprozesse insbesondere in den armen Ländern – und damit die Steigerung ihrer entsprechenden Risikobewältigungskapazität – hängt auch von einer Verbesserung der strukturellen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen ab, welche auch durch Industrieländer beeinflusst werden. Sinnvolle Maßnahmen zur Verbesserung der Rahmenbedingungen wären beispielsweise der Abbau von Protektionismus und damit die Schaffung fairer Handelsbedingungen oder eine Lösung der Verschuldungskrise. Hierbei handelt es sich nach Ansicht des Beirats jedoch um eine Langfrist- und Querschnittsaufgabe deutscher Politik zur Förderung einer global nachhaltigen Entwicklung.

Gerade weil Entwicklungszusammenarbeit ein wesentliches Element globaler Risikoversorgepolitik ist, wird deren strategische Bedeutung angesichts des global wachsenden Risikopotentials künftig zunehmen. Daher hat der Beirat in der Vergangenheit wiederholt die Erhöhung der öffentlichen Mittel für die finanzielle Entwicklungszusammenarbeit empfohlen (WBGU, 1996a, b; WBGU, 1998a).

Stärkung der individuellen Risikobewältigungskapazität durch Armutsbekämpfung

In Kap. E 2 hat der Beirat dargelegt, daß ein bedeutender Teil von Risikoversorgepolitik in der Stärkung der Bewältigungskapazitäten verwundbarer Gruppen liegt. Eine solche Risikoversorgepolitik eignet sich besonders zur Verringerung des Schadensausmaßes bei den Risikotypen Damokles, Zyklop und Pythia.

Eine selbsthilfeorientierte Armutsbekämpfung ist nach Ansicht des Beirats ein wichtiger Teil einer globalen Risikoversorgepolitik, da sie nicht nur auf Breitenwirkung abzielt, sondern auch strukturelle Reformen in Staat und Gesellschaft angeregt werden. So kann das potentielle Schadensausmaß von Risiken deutlich gesenkt werden (Kap. E 2). Ziel entsprechender Maßnahmen muß es sein, die Handlungsspielräume sozialer Gruppen gegenüber Risiken durch die Stärkung einer Reihe von „Aktivposten“ zu verbessern (Kap. E 2). Hierzu zählen wirtschaftliche Aktiva (v. a. Eigentumsrechte), soziale und politische Aktiva (soziale Netzwerke und politische Partizipation), ökologische Aktiva (saubere Umwelt), durch Infrastruktur entstehende Aktiva (Zugangsrechte z. B. zu Trinkwasser) und persönliche Aktiva (v. a. Gesundheit und Bildung). Diese Aktivposten sind aus der Sicht des Beirats die wesentlichen Aktionsbereiche einer auf der Ebene sozialer Gruppen ansetzenden globalen Risikoversorgepolitik. Durch Vermehrung dieser Aktiva sinkt in den meisten Fällen auch die Anfälligkeit gegenüber den

Risiken des Globalen Wandels. Denn die Kombination von verschiedenen Einkommensquellen, gerade in ökologisch anfälligen Regionen, ist erfahrungsgemäß eine wichtige Bedingung, um das Überleben von Armutsgruppen zu sichern. Dies wurde jedoch bislang zu wenig berücksichtigt.

Wichtig ist hierbei, auch neue soziale Sicherungssysteme aufzubauen, um die gegenüber den Risiken des Globalen Wandels am meisten gefährdeten Gruppen hinsichtlich ihrer Grundbedürfnisse abzusichern. Solche Sicherungssysteme können einerseits durch die Förderung privater Sicherungsfonds aufgebaut werden; sie können aber auch in der Stärkung kulturspezifischer und traditioneller Formen der sozialen Sicherung bestehen. Eine dritte Möglichkeit wäre der Aufbau moderner zielgruppenorientierter sozialer Sicherungssysteme, die sich an den Bedarf der „verwundbaren“ Menschen dynamisch anpassen können.

Senkung der Umweltkritikalität durch Umwelt- und Ressourcenschutz

Die Analyse der Risiken des Globalen Wandels hat gezeigt, daß die ökologische Anfälligkeit von Regionen, d. h. ihre spezifische Umweltkritikalität, ein wesentlicher Risikoverstärker ist (Kap. E 2). Die Entwicklungszusammenarbeit leistet bereits einen wichtigen Beitrag zur Bewältigung von Risiken des Globalen Wandels, indem sie den Erhalt der natürlichen Lebensgrundlagen des Menschen fördert und den Partnerländern hilft, sich selbst am globalen Umweltschutz zu beteiligen und ihre Entwicklung umweltverträglich zu gestalten. Zudem können in vielen Entwicklungsländern Maßnahmen für den globalen Umweltschutz kostengünstiger als in den Industrieländern durchgeführt werden. Hinzu kommt, daß bereits frühzeitig im Entwicklungsprozeß die Einhaltung ökologischer Standards gefördert werden kann, um so bereits im Vorfeld die Degradation der Umwelt zu vermeiden. Allerdings betont auch das Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit (BMZ, 1997), daß das Ziel einer global nachhaltigen Entwicklung nur dann erreichbar ist, wenn auch und v. a. in den Industrieländern notwendige Reformen und Strukturanpassungen erfolgen. Vor diesem Hintergrund kommt der Umwelt- und Entwicklungspolitik als Beitrag zur globalen Zukunftssicherung und Krisenprävention eine völlig neue Rolle zu, der politisch stärker Rechnung getragen werden sollte.

Integration von Risikowissen in Bildung und Ausbildung

Bildung und Ausbildung sind Schlüsselbereiche zur Förderung einer nachhaltigen Entwicklung. Auch das Bewältigungspotential einer Gesellschaft gegenüber den Risiken des Globalen Wandels, ihr Wissen

über Verursachung und Wirkungszusammenhänge sowie ihre Fähigkeit, über Risiken zu kommunizieren, hängen direkt vom Bildungsniveau und der wissenschaftlichen Kompetenz ab. In Bezug auf die Risiken des Globalen Wandels sind Bildung und wissenschaftliche Kompetenz wesentliche Erfolgsbedingungen für die Entwicklung eigener Risikobewältigungskapazitäten (Kap. F 7), insbesondere in den Entwicklungsländern.

Aber gerade im Bildungsbereich wuchs das Nord-Süd-Gefälle in den letzten Jahren wieder an (Kap. E 2). Die Produktion von Risikowissen im Innovationsprozeß wird v. a. für jene Länder wichtig, deren Industrialisierung noch am Anfang steht und bei denen in Zukunft wichtige Entscheidungen in Schlüsselbereichen aller Wirtschaftssektoren anstehen. Dieser Aspekt sollte deshalb im Bereich Bildung und Ausbildung stärker berücksichtigt werden.

Wie in Kap. E 2 näher ausgeführt, bestehen in dieser Hinsicht erheblicher Handlungsbedarf, aber auch erhebliche Handlungsmöglichkeiten. Nicht zuletzt sollte die Rolle der privaten Umwelt- und Entwicklungsverbände innerhalb des Schwerpunkts Bildung und Ausbildung gestärkt werden, weil diese Verbände wichtige Katalysatoren im Entwicklungsprozeß dieser Länder sind und gerade dort Aufgaben übernehmen, bei denen der Staat versagt. Ein Beispiel hierfür ist die Rolle der Umwelt- und Entwicklungsverbände bei der Umsetzung der Desertifikationskonvention. Erneut wird dabei deutlich, wie entscheidend der Beitrag der Entwicklungszusammenarbeit für eine global nachhaltige Entwicklung ist.

Verbesserung der nationalen Risikobewältigungskapazitäten der Entwicklungsländer und Transformationsländer

Die Bewältigung der Risiken des Globalen Wandels erfordert funktionsfähige gesellschaftliche Institutionen. Sie sind insbesondere in Entwicklungsländern, aber auch in manchen Transformationsländern, noch dringend verbesserungsbedürftig. So sollte den Staaten im Rahmen einer globalen Risikobewältigungsstrategie Hilfe bei der Stärkung ihres Justiz- und Verwaltungsapparats angeboten werden. Mit Blick auf die Entwicklungsländer könnte dies konkret die Ausbildung und v. a. Fortbildung von Justiz- und Verwaltungsangestellten sein. Als Vorbild könnte die Fortbildung von Zollbeamten in vielen Entwicklungsländern über den Umgang mit FCKW-Handel dienen. Dies wurde von den Industrieländern über den Multilateralen Fonds zur Umsetzung des Montrealer Ozonprotokolls finanziert.

Bei allen Risiken des Globalen Wandels, insbesondere dem drohenden Klimawandel, gilt es, das Ausmaß des potentiellen Schadens so gering wie möglich

zu halten und hierbei gerade die besonders verwundbaren Bevölkerungsgruppen und Staaten zu stärken. Dies wären z. B. Vorsorgemaßnahmen zum Schutz vor Klimafolgeschäden wie Dürren, Überflutungen, aber auch Ernteaufschläge und Hungersnöte. Mit Blick auf die Tätigkeiten der Bundesregierung kann der Beirat hier v. a. empfehlen, diese Formen der Entwicklungszusammenarbeit als Teil einer globalen Risikobewältigungsstrategie im erforderlichen Maß aufrechtzuerhalten und nach Möglichkeit auszubauen.

Ein besonderes Problem ist, daß gerade Entwicklungsländer nur unzureichend in der Lage sind, auf der Basis ihrer eigenen Kapazitäten neue Risiken abzuschätzen. Daß sie hierfür auf die Forschungsergebnisse der Industrieländer zurückgreifen müssen, hat in vielen Fällen (etwa beim Schutz der Ozonschicht) zu Mißtrauen und Verzögerungen in den Verhandlungen geführt. Zwar enthalten alle modernen Umweltverträge Bestimmungen, nach denen die entsprechenden Kapazitäten der Entwicklungsländer gefördert werden sollen – diese Bestimmungen wirken aber immer nur „nachsorgend“ für das im Vertrag schon geregelte Problem (beispielsweise Stärkung der Klimaforschung in Entwicklungsländern im Rahmen der Klimakonvention).

Die Kooperation der Entwicklungsländer bei den *zukünftigen* Umweltproblemen (den „neuen Ozonlöchern“) könnte aber erheblich gesteigert werden, wenn Entwicklungsländer bei diesen Problemen schon von Anfang an mit eigener Expertise beteiligt wären. Gerade das Ozonproblem ist ein Fall, bei dem die Entwicklungsländer aufgrund ihrer spezifischen Interessenkonstellation (kaum Verursacher-, aber hohe Betroffeneninteressen) eigentlich zu den Promotoren des Ozonregimes hätten zählen müssen.

Um die Risikobewältigungskapazität von Entwicklungsländern zu stärken und zugleich die universelle Verständigung über neue umweltpolitische Maßnahmenkataloge zu fördern und zu beschleunigen, empfiehlt der Beirat deshalb für die deutsche Entwicklungszusammenarbeit, aber auch die Außenpolitik, den Aufbau von Risk Assessment Panels oder vergleichbaren Strukturen in Entwicklungsländern zu fördern.

6.3 Stärkung der internationalen Risikobewältigungskapazität

(UN) Risk Assessment Panel

Wie die nationale ist auch die internationale Politik nach Ansicht des Beirats nur unzureichend gewappnet, um die Risiken des Globalen Wandels zu bewäl-

tigen. Es gibt zwar eine Reihe internationaler Organisationen und Institutionen, die sich gezielt mit dem Umgang der vom Beirat identifizierten Kernrisiken beschäftigen, etwa die WHO (Seuchen), die FAO (Ernährungsrisiken) oder die Vertragsstaatenkonferenzen zur UN-Klimarahmenkonvention (Klimarisiken), zur Biodiversitätskonvention (Risiken durch Biodiversitätsverlust) oder zur Desertifikationskonvention (Dürreerisiken). Weil diese Organisationen schon an Teilaspekten der globalen Risikobewertung arbeiten, kommt ihnen ein besonderer Stellenwert für eine globale Risikobewältigungsstrategie zu. Daraus folgt, daß alle risikorelevanten Tätigkeiten dieser Organisationen entsprechend gestärkt und untereinander vernetzt werden müssen. Angesichts der anhaltenden Kritik an der Arbeit z. B. der WHO wird dies um so dringender (Kap. D 3). Gleichwohl ersetzt die Arbeit dieser sektoral orientierten Organisationen nicht die Funktionen einer – zumindest annäherungsweise – integrierten, interdisziplinären Gesamtbewertung von bestehenden und künftigen Risiken des Globalen Wandels. Zum einen können Risiken des Globalen Wandels sektoral oder regional nur eine geringe Relevanz besitzen, aber in ihrem Gesamtzusammenhang und in ihrer kumulativen Wirkung ein erhebliches Risiko darstellen, so daß hier eine Institution zur integrierten, transsektoralen Bewertung von Risiken des Globalen Wandels erforderlich wird.

Zum anderen sind bestehende internationale Institutionen im wesentlichen nachsorgend orientiert, d. h. sie reagieren auf bekannte Risiken. Oftmals liegt aber zwischen Entdeckung eines Risikos bis zur Bildung eines internationalen Regimes eine lange Zeitspanne; knapp 15 Jahre bei FCKW und – wenn man Arrhenius (1896) heranzieht – 100 Jahre beim Klimarisiko. Diese Zeitspanne ließe sich verkürzen, wenn Risiken frühzeitig und systematisch erforscht und bewertet werden würden und wenn – dies ist das zentrale Argument – aufgrund dieser Bewertung frühzeitig auf zwischenstaatlicher Ebene Verhandlungen initiiert werden könnten.

Deshalb empfiehlt der Beirat der Bundesregierung, sich für die Einrichtung eines (UN) Risk Assessment Panel einzusetzen, das einer bestehenden internationalen Organisation, wie dem UN-Generalsekretariat oder dem UN-Umweltprogramm, angegliedert werden sollte. Das Panel sollte sich bei seiner Arbeit auf die wesentlichen Politikbereiche konzentrieren (beispielsweise 4–5 Felder) und für diese hierfür die „Sicherheitsstreifen“ bestimmen. Entsprechend sollte die Hauptaufgabe dieses Panels erstens die interdisziplinäre, risikoorientierte, systematische Auswertung der bestehenden Forschungsergebnisse sein, beispielsweise in Form eines Global Risk Report. Eine zweite Aufgabe sollte der Aufbau eines in-

ternationalen „Diagnosesystems“ über die Risiken des Globalen Wandels sein. Dabei sind im wesentlichen die bestehenden Einrichtungen in den einzelnen Staaten heranzuziehen, welche mit der Bearbeitung von speziellen Fragestellungen beauftragt werden könnten. Zum Teil geschieht dieses bereits: etwa in der international wertvollen Rolle US-amerikanischer Institute bei der Erforschung des El-Niño-Phänomens. Soweit geeignete Institute für einzelne Problembereiche noch nicht vorhanden sind, sollte ihr Aufbau entsprechend gefördert werden.

Das (UN) Risk Assessment Panel sollte sich in seiner Funktion, wenngleich nicht unbedingt in seiner Struktur, am Zwischenstaatlichen Ausschuß über Klimaänderungen (IPCC) orientieren.

Aufs Ganze gesehen sollte das (UN) Risk Assessment Panel v. a. eine Koordinations- und Sammelfunktion wahrnehmen; seine politische Funktion sollte eine interdisziplinäre Konzentration der wissenschaftlichen Forschungsergebnisse (politikorientierte Abwägung aller Einzelergebnisse) sein, und zwar möglichst

- unabhängig vom direkten Interesse einzelner Staaten,
- unabhängig vom speziellen Interesse der Privatwirtschaft sowie
- unabhängig vom direkten Einfluß privater politischer Verbände.

Wenn es gilt, Risiken des Globalen Wandels zu identifizieren und zu bewerten, sollten auch die zivilgesellschaftlichen Akteure angehört werden. So könnten neue Risiken auf die Agenda des (UN) Risk Assessment Panel gebracht werden. Dabei könnte sich dieser Einfluß – institutionell gefiltert und wissenschaftlich belegt – auf die Empfehlungen des Panels durchschlagen, etwa in einem UN-Risikobericht (Global Risk Report). Zu solchen zivilgesellschaftlichen Akteuren, die vom (UN) Risk Assessment Panel gehört werden sollten, zählen beispielsweise Umwelt- und Entwicklungsverbände, Versicherungen (etwa mit ihren speziellen Kenntnissen über Haftungsrisiken) sowie andere von den Risiken des Globalen Wandels betroffene Wirtschaftsunternehmen.

Das IPCC hat deutlich gezeigt, wie eine solche Institution im internationalen System die Politik durch Information und Expertenwissen zu unterstützen vermag. Durch die Erstellung eines regelmäßigen UN Global Risk Report, der wie beim IPCC durch einen unabhängigen Bewertungsprozeß gewonnen werden würde, ließe sich erreichen, daß

- bestehende Risiken effizienter angegangen werden können, soweit ihre globale Verteilung und Relevanz ausreichend abgeschätzt sind, also durch Früherkennung Kosten der Nachsorge gespart werden können;
- bestehende Risiken auf der internationalen politi-

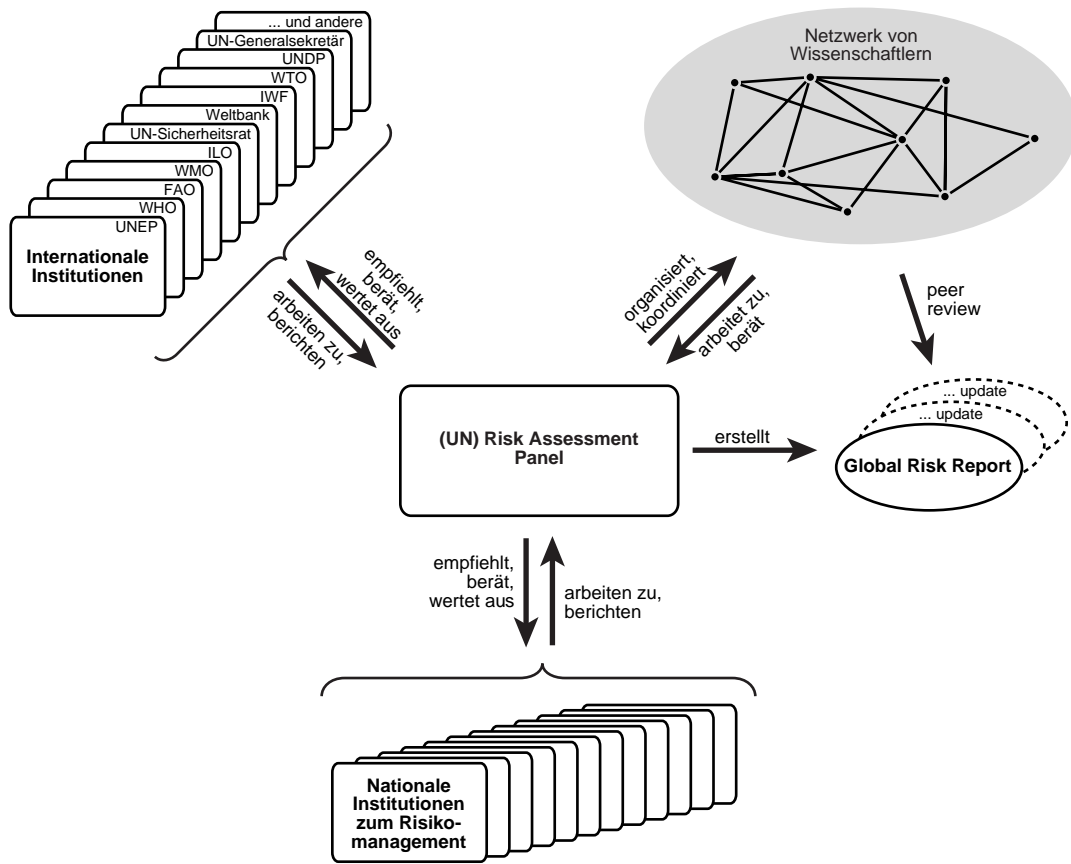


Abbildung F 6.3-1
 Institutionelle Einbindung eines (UN) Risk Assessment Panel.
 Quelle: WBGU

schen Agenda einen höheren Stellenwert erhalten (Beschleunigung des politischen Prozesses durch Reduzierung der Unsicherheit);

- zukünftige Risiken, die angesichts der kürzer werdenden Innovationszyklen eher zunehmen, schneller und „objektiver“ erkannt werden;
- durch frühzeitiges Eingreifen die Chancen für eine wirksame Risikobewältigung erhöht werden, denn Früherkennung erspart große Kosten der Nachsorge.

Essentiell für den Erfolg eines (UN) Risk Assessment Panel ist eine effektive und effiziente Vernetzung mit den sektoralen und regionalen Abteilungen des UN-Systems. In vielen UN-Sonderorganisationen käme hier die Einrichtung von spezialisierten Risk Assessment Units oder Risk Assessment Focal Points in Betracht. Auf die Notwendigkeit einer neuen UN-Organisation für nachhaltige Entwicklung, die 1997 auch vom Bundeskanzler angeregt worden ist, hat der Beirat ebenfalls hingewiesen (WBGU, 1998a).

Im Vergleich mit den Vereinten Nationen haben Weltbank und Weltwährungsfonds den größeren

Einfluß in der Umwelt- und Entwicklungspolitik, wie in der Indonesienkrise 1997/1998 erneut deutlich wurde. Daher sollten sie in das (UN) Risk Assessment Panel eingebunden werden. Einerseits könnte auf diese Weise ihre Politik auf risikoverstärkende und

-abschwächende Elemente evaluiert und verändert sowie die Diskussion um soziale und ökologische Standards um den Risikoaspekt angereichert werden, andererseits könnten Erkenntnisse des Panels unmittelbar in die Politik beider Institutionen einfließen. Eine sinnvolle Verknüpfung wäre insbesondere die Einrichtung einer eigenständigen und mit dem (UN) Risk Assessment Panel verknüpften Global Risk Assessment Unit innerhalb der Weltbank (Abb. F 6.3-1).

In der wissenschaftlichen Literatur wird auch diskutiert, inwieweit dem Sicherheitsrat – in extremen Fällen – neue Aufgaben zukommen könnten. Der Sicherheitsrat ist schon jetzt de facto ein Risikobewertungsgremium, weil er laut UN-Satzung aufgerufen ist, Bedrohungen des Weltfriedens zu identifizieren und ggf. nach Maßgabe des Kapitels VII der UN-Sat-

Kasten F 6.3-1

Die Bewältigung von ökologischen Krisen als Aufgabe auch des UN-Sicherheitsrats?

Das Hauptziel der Vereinten Nationen besteht in der Bewahrung des internationalen Friedens und der Sicherheit (Präambel und Art. 1 Abs. 1 der UN-Charta). Nach dem in Kap. VII der UN-Charta verankerten System der kollektiven Sicherheit sind die Vereinten Nationen auch ermächtigt, mit verschiedenen kollektiven Maßnahmen, die bis zum Militäreinsatz reichen können, den Frieden aufrechtzuerhalten und wiederherzustellen. Dafür muß der Sicherheitsrat zunächst gemäß Art. 39 der UN-Charta feststellen, ob eine Bedrohung (threat) oder ein Bruch (breach) des Friedens oder eine Angriffshandlung (aggression) vorliegen. Erst wenn dies der Fall ist, darf der Sicherheitsrat von seinen besonderen Kompetenzen in Kap. VII der UN-Charta Gebrauch machen.

Im Vergleich zu Friedensbruch oder gar Angriffshandlung enthält der Begriff der Friedensbedrohung auch eine präventive Komponente; dadurch kann Art. 39 der UN-Charta schon vor einem tatsächlichen Friedensbruch wirksam werden (Frowein, 1991). Zudem weitet der Begriff der Friedensbedrohung auch inhaltlich die Kompetenzen des Sicherheitsrats, weil eine genaue Definition einer Bedrohung des Friedens schwierig ist.

Ökologische Probleme, seien sie noch so gravierend, fallen nicht unter die Begriffe des Friedensbruchs und der Angriffshandlung, weil Frieden in Kap. VII der UN-Charta eng zu verstehen ist, also beschränkt auf die Abwesenheit organisierter Gewalt zwischen Staaten. Auch der Begriff der Angriffshandlung setzt den Einsatz von Waffengewalt voraus, wie sich aus der Definition der UN-Generalversammlung ergibt (Art. 1 der UN-Resolution 3314 XXIX). Hingegen kann der Begriff der Friedensbedrohung außerordentlich weit verstanden werden, wenn sich der Sicherheitsrat dabei einig ist (Frowein, 1991). Deshalb könnten grundsätzlich auch ökologische Probleme als eine Bedrohung des Friedens angesehen werden (dagegen jedoch Winkler, 1995). In

diesem Sinn könnten die Ausführungen des Präsidenten des Sicherheitsrats aus dem Jahr 1992 zu deuten sein, nach der „die nicht militärischen Ursachen von Instabilität im wirtschaftlichen, sozialen, humanitären und ökologischen Bereich zu Bedrohungen des Friedens und der Sicherheit geworden sind“ (UN, 1992). Allerdings dürfen nur die gravierendsten und unmittelbarsten ökologischen Gefahren als Friedensbedrohung gelten, und auch nur dann und sofern sie bewaffneten Auseinandersetzungen den Weg bereiten. Solange die UN-Charta nicht geändert wird, besteht eine Umweltkompetenz der UN somit nur in sehr seltenen Fällen, die bislang nur im Ansatz diskutiert wurden, etwa wenn die Prognose der Weltbank zuträfe, daß die Kriege des 21. Jahrhunderts um den Zugang zu Wasser gefochten werden (Nettesheim, 1996). Im Gegensatz dazu wird auch auf die sog. Kompetenz-Kompetenz des Sicherheitsrats hingewiesen, wodurch der Rat zumindest faktisch selbst festlegen könne, unter welchen Voraussetzungen er tätig werden darf. Zwar wird gleichzeitig vor einer „Allzuständigkeit“ des Sicherheitsrats gewarnt, aber im Ergebnis doch gefolgert, daß kollektive ökologische Interventionen auf der Grundlage von Art. 39 der UN-Charta rechtlich möglich seien (Reimann, 1997). Auch wenn „Grünhelme“ zum Schutz der Umwelt wünschenswert erscheinen mögen: allzu frei darf Art. 39 der UN-Charta auch aus Umweltgesichtspunkten nicht ausgelegt werden. Denn das Prinzip der Kooperation – und nicht des Konflikts und der Intervention – gilt zu Recht als Fundament des modernen Völkerrechts. Fortschritte im internationalen Umweltschutz, insbesondere seit dem Rio-Gipfel von 1992, wären sonst nicht möglich gewesen.

Sollten in Form einer Generalklausel kollektive Zwangsmaßnahmen ermöglicht werden, würde dies dem Gesamtprozeß z. Z. vermutlich eher schaden als nützen. Hingegen möchte der Beirat seine Empfehlung aus dem letztjährigen Gutachten bekräftigen, den nachhaltigen Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen in der UN-Charta zu verankern, etwa in Art. 1. Damit würde der Stellenwert des gemeinsamen internationalen Umweltschutzes auch rechtlich gestützt, den er, gemessen an den Tätigkeiten der UN in diesem Bereich, faktisch schon jetzt genießt.

zung entsprechend zu handeln (Kasten F 6.3-1). 1992 erklärte der Präsident des Sicherheitsrats – auf einem „historischen“ Ratstreffen auf der Ebene der Staats- und Regierungschefs – im Namen der anwesenden Staats- und Regierungschefs, daß auch ökologische Probleme eine „Bedrohung des Weltfriedens“ darstellen können. Das UN-Generalsekretariat hat das Recht, den Sicherheitsrat auf solche Bedrohungen hinzuweisen.

Dies müßte Teil einer internationalen Strategie zur Bewältigung der Risiken des Globalen Wandels sein, da mehrere vom Beirat behandelte Kernrisiken zu den typischen Kandidaten einer ökologischen Sicherheitsbedrohung zählen.

Stärkung des Instruments der vorherigen informierten Zustimmung

Um Asymmetrien zwischen einzelnen Staaten im Wissen um Risiken zu verringern, wurde in eine Reihe neuerer juristischer und politischer Dokumente

der Grundsatz der vorherigen informierten Zustimmung (eines Empfängerlandes) aufgenommen (prior informed consent, PIC). Dieser PIC-Grundsatz verbindet 2 aufeinander aufbauende Elemente: Im ersten Schritt sollen von exportierenden Staaten Informationen über die Risiken spezifischer Güter an die Empfängerstaaten dieser Güter vermittelt werden. In einem zweiten Schritt sollen dann die Empfängerstaaten eine auf dieser Information basierende Entscheidung über die Einfuhr solcher riskanten Güter fällen können.

Im Kern soll diese Regelung also die souveräne Entscheidung derjenigen Empfängerstaaten fördern, die selbst nicht über ausreichendes Wissen zur Bewertung eines Risikos verfügen (Rublack, 1993). Vor allem soll der ungewollten Verlagerung von Risiken aus Industrie- in Entwicklungsländer durch den Abbau von Informationsdefiziten entgegengewirkt werden.

Kasten F 6.3-2

Das Biosafety-Protokoll

Im Rahmen der Biodiversitätskonvention wird seit Juli 1996 ein Protokoll über die biologische Sicherheit (Biosafety-Protokoll) erarbeitet, das im Februar 1999 angenommen werden soll. Das Protokoll will den sicheren Umgang mit und Transfer von genetisch modifizierten Organismen regeln und wäre auf diesem Gebiet das erste völkerrechtlich verbindliche Abkommen. Die Ziele des rahmengebenden Übereinkommens über die biologische Vielfalt (Convention on Biological Diversity, nachfolgend: Biodiversitätskonvention bzw. Konvention) sind die Erhaltung der biologischen Vielfalt, die nachhaltige Nutzung ihrer Bestandteile sowie eine ausgewogene und gerechte Aufteilung der sich aus der Nutzung der genetischen Ressourcen ergebenden Vorteile („benefit-sharing“, auch Vorteilsausgleich genannt (WBGU, 1995)). Art. 19 III der Konvention verpflichtet die Vertragsstaaten zur Prüfung der „Notwendigkeit (...)“ eines Protokolls über geeignete Verfahren, insbesondere einer vorherigen Zustimmung in Kenntnis der Sachlage, im Bereich der sicheren Weitergabe, Handhabung und Verwendung der durch Biotechnologie hervorgebrachten lebenden modifizierten Organismen, die nachteilige Auswirkungen auf die Erhaltung und nachhaltige Nutzung der biologischen Vielfalt haben können“. Auf Grundlage von Beschlüssen der 1. und 2. Vertragsstaatenkonferenz (1994 und 1995) nahm die Open-ended Ad hoc Working Group on Biosafety (BSWG) ihre Arbeit auf und hat nach 5 Verhandlungsrunden einen Textentwurf erarbeitet, in dem allerdings wichtige Themen immer noch umstritten sind. Auf der 4. Vertragsstaatenkonferenz im Mai 1998 wurde entschieden, bis zum Februar 1999 einen konsensfähigen Protokollentwurf fertigzustellen. Sollte es auf der 6. und abschließenden Sitzung der BSWG (15.–19.2.1999) zu keiner Einigung kommen, sind bis zur 5. Vertragsstaatenkonferenz der Konvention (15.–26.5.2000) wohl keine neuen Entwicklungen zu erwarten. Nach dem bisherigen Verhandlungsverlauf ist ein solches vorläufiges Scheitern des Biosafety-Prozesses nicht auszuschließen.

Inhaltliche Regelungen

Über den Regelungsumfang des Protokolls herrscht Uneinigkeit. Von 42 Artikeln sind die inhaltlich bedeutsamen und politisch brisanten Vorschriften entweder noch ganz oder in großen Textpassagen strittig. Erwartungsgemäß divergieren die Interessen der Industrie- und der Entwicklungsländer (G77-Staaten und China). Bemerkenswert ist bei diesen Verhandlungen, daß zum ersten Mal seit der UNCED (Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung, Rio de Janeiro 1992) die Entwicklungsländer als „Anwälte“ für einen starken Umwelt- und Gesundheitsschutz auftreten.

Der Beirat wird im Rahmen seines nächsten Jahresgutachtens ausführlich zum Biosafety-Protokoll Stellung nehmen. Einige Brennpunkte des Protokolls, die z. T. in unmittelbarem Zusammenhang mit dem vorliegenden Gutachten stehen, sollen jedoch bereits jetzt kurz angesprochen werden.

Zunächst ist der Anwendungsbereich der Bestimmungen des Protokolls umstritten. In enger Anlehnung an Art. 19 III der Konvention wird vertreten, daß durch das Proto-

koll nur nachteilige Auswirkungen gentechnisch modifizierter Organismen (im Entwurf des Protokolls bezeichnet als Living Modified Organisms, LMO) auf die biologische Vielfalt, nicht aber auch auf die menschliche Gesundheit verhindert werden sollen. Zwar bezieht sich das Mandat für die Ausarbeitung des Protokolls ebenfalls nur auf die biologische Vielfalt, jedoch zeigen die relevanten Beschlüsse der 1. und 2. Vertragsstaatenkonferenz, daß auch die menschliche Gesundheit nach Auffassung der Mehrheit der Vertragsstaaten ein Beweggrund für die Erarbeitung eines Protokolls war. Zudem sollte Art. 19 III mit Art. 8(g) der Konvention im Zusammenhang gelesen werden, der bei der Nutzung oder Freisetzung von LMO Risikokontrollen fordert, die auch die Risiken für die menschliche Gesundheit berücksichtigen sollen.

Strittig ist zudem, ob sich die Schutzvorschriften des Protokolls ausschließlich auf „lebende“ modifizierte Organismen erstrecken sollen oder auch auf Endprodukte (insbesondere Lebensmittel), in denen LMO verarbeitet wurden. Auch über die Frage, ob das Protokoll lediglich die Sicherheit des grenzüberschreitenden Verkehrs von LMO sicherstellen soll (also die Zeitspanne der Grenzüberschreitung) oder aber zum Schutz vor Risiken der Biotechnologie allgemein dienen soll, besteht noch keine Einigkeit. Staaten, die dem Protokoll nur eine geringe Tragweite zukommen lassen wollen, stützen ihre Argumentation u. a. auf den Wortlaut von Art. 8(g) und 19 III der Konvention.

Das Protokoll setzt sich an mehreren Stellen mit dem Thema der Risikoabschätzung auseinander. Strittig ist hier, ob bei der Nutzung oder Freisetzung von LMO für die Beurteilung der Sicherheit auf das Vorsorgeprinzip als Bewertungsgrundlage zurückgegriffen werden soll. Dies wurde vornehmlich von den Industriestaaten verneint, die bei den Verhandlungen über das Biosafety-Protokoll generell von der Unbedenklichkeit genmanipulierter Organismen ausgehen. Im Ergebnis soll dieser Streit die Frage entscheiden, ob das Import- oder das Exportland der LMO die Beweislast (und die damit verbundenen Forschungskosten) über deren Risiken zu tragen hat. Denn bei Zugrundelegung des Vorsorgeprinzips läge diese Nachweispflicht bei den exportierenden Staaten. Wenn das Protokoll hingegen von einer generellen Ungefährlichkeit der LMO ausgeht, müssen die Importstaaten darlegen, daß im konkreten Fall eine Gefährdung droht; ansonsten könnte deren Weigerung ein ungerechtfertigtes Handelshemmnis darstellen. Laut Präambel der Konvention sollte „das Fehlen einer völligen wissenschaftlichen Gewißheit nicht als Grund für das Aufschieben von Maßnahmen zur Vermeidung einer solchen Bedrohung (gegen die biologische Vielfalt) dienen“. Weiterhin drängt der Rahmen, in dem das Biosafety-Protokoll eingebettet ist, auf eine Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips. Dies wird in §15 der Rio-Deklaration von 1992 ausdrücklich erwähnt. Aus der Haltung einiger EU-Staaten bei der Genehmigung von genmanipuliertem Mais läßt sich erkennen, daß durchaus Bedenken gegen dessen Ungefährlichkeit vorliegen, die auch in den Verhandlungen über das Biosafety-Protokoll Ausdruck finden sollten.

Zusätzlich thematisiert der Protokollentwurf die vom Beirat in diesem Gutachten behandelten Risikopräventionsinstrumente der „vorherigen Zustimmung in Kenntnis der Sachlage“ (prior informed consent, PIC-Verfahren) und des Haftungsrisikos. Auch hinsichtlich der Anwendung dieser Instrumente ist bislang kein Konsens absehbar.

Erstmals als umweltrechtliches Instrument eingeführt wurde der PIC-Grundsatz 1989 durch die Erweiterung des in den Londoner Richtlinien des UN-Umweltprogramms vorgesehenen Verfahrens des Informationsaustausches über bestimmte Chemikalien (Decision 15/30, UNEP Governing Council). Im gleichen Jahr wurde ein ähnliches, ebenfalls freiwilliges Verfahren für den internationalen Handel mit Pestiziden geschaffen, indem der Internationale Verhaltenskodex zur Verteilung und Nutzung von Pestiziden der FAO erweitert wurde. Für die Durchführung beider freiwilligen Verfahren haben UNEP und FAO ein gemeinsames Programm eingerichtet. Außerdem enthält das Basler Übereinkommen über die Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung gefährlicher Abfälle und ihrer Entsorgung den PIC-Grundsatz, und hier sogar für die Parteien rechtsverbindlich.

Art. 15 Abs. 5 der Biodiversitätskonvention sieht ebenfalls vor, daß ein PIC-Verfahren durchgeführt wird. Aber hier liegt die konkrete Ausgestaltung in der Verantwortung der zuständigen Länder und wird nicht bereits im Vertrag selbst geregelt. Außerdem hat das PIC-Verfahren in der Biodiversitätskonvention (Kasten F 6.3-2) einen umgekehrten Schutzzweck: Hier sollen Entwicklungsländer, die genetische Ressourcen exportieren, vor der Nutzung dieser Ressourcen in anderen Ländern geschützt werden, weil diese aufgrund von Wissensdefiziten nicht im eigenen Land wirtschaftlich genutzt werden können. Als Gegenleistung dafür, daß das Exportland die Entnahme von genetischen Ressourcen gestattet, soll es an der Forschung und auch in billiger Weise an den Ergebnissen der Forschung und den Vorteilen der Nutzung der genetischen Ressourcen beteiligt werden (Art. 15 Abs. 6 und 7; Hendrickx et al., 1993).

Neben diesen Verfahren wird z. Z. im Rahmen der Vereinten Nationen über ein zusätzliches rechtsverbindliches Instrument verhandelt. Sowohl die freiwilligen Verfahren von FAO und UNEP als auch das gerade verhandelte verbindliche Instrument der Anwendung des PIC-Grundsatzes auf gewisse gefährliche Chemikalien und Pestizide im internationalen Handel (Entwurf UNEP/FAO/PIC/INC.4/2) und das Basler Übereinkommen sehen eine iterative Anwendung des PIC-Grundsatzes vor.

Gemeinsam ist den Verfahren, daß die Gesetzgebung über bestimmte riskante Güter abgeglichen wird. Die Exportstaaten setzen importierende Staaten über ihr geltendes Recht in Kenntnis und geben Informationen über Handhabung, Eigenschaften und Risiken des Guts weiter. Auf der Grundlage dieser Informationen können die Importstaaten ebenfalls Maßnahmen ergreifen und diese den Exportstaaten mitteilen. Die Exportstaaten setzen dann wiederum die entsprechenden Unternehmen in

Kenntnis. Der Abgleich der nationalen Vorschriften wird über ein zentrales Organ koordiniert. Bei dem Basler Übereinkommen ist dies sein Sekretariat. Bei UNEPs Londoner Richtlinien und dem Internationalen Verhaltenskodex zur Verteilung und Nutzung von Pestiziden der FAO sind dies spezialisierte Abteilungen des UNEP (IRPTC) und der FAO (Plant Production and Protection Division).

Die Schließung von Informationslücken ist eine unumgängliche Voraussetzung, damit Staaten souverän über den Import riskanter Güter entscheiden können. Gegenüber internationalen Verboten hat der PIC-Grundsatz den Vorteil, daß Staaten in die Lage versetzt werden, Risiken eigenständig zu bewerten. Ihnen bleibt freigestellt, ob sie die mit einem Gut verbundenen Risiken akzeptieren wollen oder nicht.

Für die Anwendung des PIC-Grundsatzes in anderen Bereichen, z. B. beim internationalen Verkehr mit Medikamenten oder riskanter Technologie, würde sprechen, daß auch dort ein Informationsdefizit bei einzelnen Staaten, insbesondere in Entwicklungsländern, besteht. Die verfahrensmäßige Verpflichtung zur Weiterleitung nationaler Informationen in Form von Gesetzgebungsständen, wie sie in den PIC-Verfahren festgeschrieben werden, stellen ein adäquates Mittel dar, um mit solchen Informationsdefiziten umzugehen. Deshalb sollte geprüft werden, ob PIC-Verfahren nicht auch in anderen Bereichen sinnvoll wären. Die Förderung der dezentralen Annäherung von Umweltschutz-, Gesundheits- und Sicherheitsvorschriften durch eine verfahrensmäßige Informationspflicht ist vielfach leichter zu erreichen als ein internationaler Konsens in der Sache.

Globale Verhaltensstandards für Unternehmen

Auch das Instrument der Haftung erfordert für eine effektive Durchsetzung eine verbesserte internationale Zusammenarbeit. In einer globalisierten Ökonomie benötigt die Setzung der für effiziente Märkte notwendigen Rahmenbedingungen eine deutliche Stärkung der zwischenstaatlichen Kooperation (global governance) (Kasten F 6.3-3).

Mit Blick auf die Haftung sind nach Ansicht des Beirats 3 unterschiedliche Formen einer verbesserten internationalen Zusammenarbeit denkbar:

1. Möglich wäre eine verstärkte internationale Harmonisierung der nationalen Haftungsrechte, ggf. über einen entsprechenden internationalen Vertrag. Ein Beispiel ist die Nuklearhaftungskonvention.
2. Zweitens sind privatwirtschaftliche Verträge unterstützenswert, wie die privaten Haftungsabkommen gegen Meeresverschmutzung, etwa das Tanker Owners Voluntary Agreement Concerning Li-

Kasten F 6.3-3

Überblick über internationale Standardsetzung und Kontrollmechanismen

National kommt dem Genehmigungsrecht eine überragende Rolle bei der Risikobewältigung zu. Hier gibt es zum einen Genehmigungsverfahren, die dafür sorgen sollen, daß die materiellen Normen etwa zur Betriebssicherheit oder zum Schutz von Mensch und Umwelt beim Errichten oder Betreiben einer Anlage eingehalten werden. Zum anderen gibt es das Genehmigungsrecht im weiteren Sinn, also Normen, an denen die Genehmigungsfähigkeit einer Tätigkeit geprüft wird. Beides unterliegt grundsätzlich der Regelungskompetenz der Staaten. Aber auch internationale Organisationen sind in diesem Bereich tätig und mit dem Ausarbeiten internationaler Standards und mit internationalen Überwachungsaufgaben betraut.

Eine solche internationale Standardsetzung kann auch durch private Akteure erfolgen. Aber soweit hoheitliche Interessen berührt sind, werden die Standards entweder von internationalen Regierungsorganisationen gesetzt oder durch völkerrechtliche Verträge zwischen den Staaten von Fall zu Fall verhandelt. Internationale Standards können in das nationale Recht eingegliedert werden und unterliegen dann der nationalen Vollzugskontrolle. Sofern eine internationale Kontrolle der Standards vorgesehen ist, beschränkt sich diese meist auf einfaches Beobachten des Verhaltens von Staaten oder Individuen. Nur in Ausnahmefällen wurde internationalen Organisationen erlaubt, gezielt einen Sachverhalt vor Ort zu überprüfen (Hahn, 1995).

Eine wichtige private Organisation ist hier die International Organization for Standardization (ISO), die 1946 gegründet wurde. Da es sich um einen Zusammenschluß privater Organisationen handelt, ist auch die ISO eine private Organisation. Das Standardsetzen der ISO beruht auf freiwilligem Konsens und führt zu keiner Rechtsbindung. Gleichwohl können ISO-Standards durch Übernahme durch die nationalen Normungsinstitute effektiv zur Geltung gebracht werden. Die ISO selbst hat jedoch keine Möglichkeiten der Vollzugskontrolle. Im Regelfall beruht das Einhalten der Normen auf der Überzeugungskraft der dadurch erzielten Marktvorteile. Internationale Normung kann aber auch technische Risiken vermindern, etwa bei der Standardisierung von Bauteilen im Anlagen- und Brückenbau. Neuerdings hat die ISO begonnen, Standards im Bereich des Umweltmanagements festzusetzen. Die ersten entsprechenden Standards wurden im Oktober 1996 erlassen (ISO 14004 und 14001). Hier geht es um Richtlinien für die erforderlichen Elemente eines Umweltmanagementsystems und seiner Umsetzung sowie die Anforderungen der ISO an ein solches Umweltmanagementsystem durch sog. Environmental-Management-System(EMS)-Spezifikationen.

Prominente Beispiele für internationale Regierungsorganisationen, die sich durch internationale Standardsetzung um Sicherheit und Umweltschutz bemühen, sind die Internationale Atomenergieagentur (IAEO), die Internationale Organisation für zivilen Luftverkehr (ICAO) und die Internationale Seeschiffsorganisation (IMO). Die Mitgliedschaft in diesen Fachorganisationen bleibt Staaten vorbehalten.

Die ICAO wurde 1947 gegründet; ihre Standardsetzung betrifft technische Fragen mit eher unpolitischem Charakter (Buergenthal, 1969), so z. B. die Flugtauglichkeit von Flugzeugen, das Kommunikationssystem, Navigationshilfen, die Eigenschaften von Flughäfen und Landegebieten, Logbücher und dergleichen (Hailbronner, 1995). Allen Mitglied-

staaten steht es frei, sich am Ausarbeiten der Standards zu beteiligen, die dann vom ICAO-Rat mit $\frac{2}{3}$ Mehrheit entschieden werden (Buergenthal, 1969). Mit Ausnahme von Flug- und Manövrierregeln können die Staaten aber jederzeit von den Standards abweichen und müssen hiervon nur den Rat unterrichten. Deshalb mag es verwundern, daß die Arbeit der ICAO von Fachleuten als äußerst erfolgreiches Beispiel internationaler Standardsetzung betrachtet wird. Rechtsverbindlichkeit ist offensichtlich kein notwendiges Kriterium für den Erfolg von Standards. Der Erfolg der ICAO beruht nicht zuletzt darauf, daß beim internationalen zivilen Luftverkehr Standardisierungen aus der Natur der Sache für alle Beteiligten profitabel sind. Ein wichtiger Grund mag darin liegen, daß die ohnehin eher technischen und unpolitischen Fragen durch eine Fachorganisation betreut werden, so daß die Arbeit nicht durch sachfremde politische Motive behindert wird.

Die IAEO wurde 1957 gegründet, um weltweit die friedliche Nutzung der Atomenergie zu fördern und zugleich im Rahmen ihrer Möglichkeiten sicherzustellen, daß ihrer Überwachung unterstehende Gegenstände nicht für militärische Zwecke verwendet werden. Die direkte Förderung der Kernenergie durch die IAEO spielte anfangs noch eine gewisse Rolle, trat jedoch mehr und mehr gegenüber ihren Kontrollfunktionen zurück (Lohman, 1993). Internationale Sicherheits- und Gesundheitsstandards standen früher eher am Rand (Ipsen, 1989). Es gibt zur Kontrolle der Einhaltung von Sicherheits- und Gesundheitsschutzstandards auch keine Verfahren, die denen zur Verhütung einer vertragswidrigen militärischen Nutzung entsprächen. Eine Kontrolle von Sicherheitsstandards in Nukleareinrichtungen führen die IAEO-Experten nur auf Einladung durch das betreffende Land durch. Die Leistungen der IAEO auf diesem Gebiet liegen deshalb im wesentlichen in der Initiierung von Verträgen zur Förderung der Sicherheit der zivilen Atomenergienutzung, wie beispielsweise dem Wiener Übereinkommen über die zivilrechtliche Haftung für nukleare Schäden von 1963, dem Pariser Übereinkommen über die Haftung gegenüber Dritten auf dem Gebiet der Atomenergie von 1960 und der nach der Tschernobylkatastrophe geschlossenen Wiener Konvention von 1986 über die frühzeitige Benachrichtigung bei kerntechnischen Unfällen und über die gegenseitige Hilfeleistung bei kerntechnischen oder radiologischen Unfällen. 1994 wurde zudem ein Übereinkommen über die nukleare Sicherheit geschlossen, das von 65 Staaten unterzeichnet und bereits von 40 Staaten ratifiziert wurde. Im wesentlichen verpflichtet dieses Übereinkommen die Staaten, bestimmte von der IAEO erarbeitete Sicherheitsstandards einzuhalten, insbesondere mit Blick auf die Wahl des Orts, der Baupläne, des Betriebs von Einrichtungen sowie mit Blick auf eine ausreichende Ausstattung mit Geld und Personal. Für Sicherheits- und Gesundheitsstandards sind aber keine Kontroll- und Durchsetzungsmechanismen vorgesehen: das Übereinkommen setzt vielmehr auf den „Gruppendruck“ der Vertragsstaatsensitzungen (sog. review meetings), in deren Rahmen die Berichte der Parteien einem Peer-review-Verfahren unterworfen werden. Ein zusätzlicher Anreiz soll durch die Veröffentlichung eines Abschlußdokuments gegeben werden.

Ursprünglich sollte eine der Hauptaufgaben der IAEO der Empfang, die Lagerung und die Verteilung von Nuklearmaterial, das von Mitgliedstaaten stammt, sein. Hierfür wurden Vereinbarungen mit den 3 Staaten, die die größten Nuklearprogramme hatten, abgeschlossen – aber diese wurden weder angewendet noch durch andere Vereinbarungen ersetzt. Erst durch die Übertragung des nuklearen Materials des Iraks an die IAEO wurde die Organisation wieder in diesem Bereich tätig, wobei die Inspektionen im Irak nicht

auf den Kompetenzen aus ihrem Statut, sondern auf der Autorisierung durch den UN-Sicherheitsrat beruht (Resolution 687 vom 3. April 1991).

Hinsichtlich der Überwachung von Vereinbarungen zur friedlichen Kernenergienutzung wurden der IAEO durch das Statut keine unmittelbaren Kontrollrechte eingeräumt. Das Statut enthält lediglich Vorgaben für den Inhalt der Abkommen über Sicherungsmaßnahmen, die die IAEO mit Staaten schließen sollte. Die IAEO hat mehrfach die Bedingungen festgelegt, unter denen sie bereit ist, solche Sicherungsabkommen mit Staaten zu schließen. Besonders wichtig ist hierbei der Modellvertrag, der für den Abschluß von Sicherungsabkommen mit Unterzeichnerstaaten des Vertrags zur Nichtverbreitung von Kernwaffen entwickelt wurde (IAEO-Dok. INFCIRC/153).

Der Nichtverbreitungsvertrag wies der IAEO die Rolle zu, bei allen Nichtkernwaffenstaaten Sicherungsmaßnahmen durchzuführen. Das effektivste Instrument zur Kontrolle stellt die Inspektion dar, wobei die Inspektoren nur mit Zustimmung der betreffenden Staaten ernannt werden dürfen. Der Zeitpunkt der Inspektionen wird aber von der IAEO ausgesucht – manchmal ohne vorherige Ankündigung oder sogar auf einer permanenten Basis, wenn es die Natur der Einrichtung erfordert. Hinzu kommt eine Informationspflicht der überwachten und dritter Staaten, die zu-

nächst die eigenen nationalen Daten betrifft, aber auch eine Pflicht zur Ergänzung der Informationen anderer Staaten einschließt, soweit dies notwendig erscheint. Aufgrund der Sicherungsabkommen können Pflichten zur Notifikation des Exports von Nuklearmaterial, nuklearen Anlagen, Ausrüstungsgegenständen und der Weitergabe technologischer Informationen bestehen. Soweit Inspektionen verweigert oder Materialdifferenzen und andere Diskrepanzen ermittelt werden, kann der Gouverneursrat der IAEO selbst Sanktionen verhängen, wie ein Embargo weiterer nuklearer Unterstützung oder die Zurückforderung von Material, das dem Staat international geliefert wurde. Die IAEO kann aber auch in besonderen Fällen den UN-Sicherheitsrat über die Lage informieren, der dann ggf. selbst sanktionieren kann.

Dies zeigt, daß sich die sonst doch sehr souveränitätsbewußten Staaten weitgehende Kontrollbefugnisse zugunsten einer internationalen Instanz abringen ließen, um die Überführung von Kernmaterial aus der friedlichen in die militärische Nutzung zu verhindern. Die IAEO nimmt in diesem Bereich sowohl Aufgaben der internationalen Standardsetzung als auch in besonderen Bereichen der internationalen Kontrolle und Überwachung wahr.

ability for Oil Pollution (TOVALOP).

3. Daneben könnte eine rechtlich nicht bindende Selbstverpflichtung der (transnational aktiven) Unternehmen gefördert werden, und zwar dahingehend, daß die Unternehmen sich weltweit einem bestimmten (privaten) Haftungsregime selbst unterwerfen. Adressat einer solchen Lösung wären insbesondere die (großen) transnationalen Unternehmen, die sich – zwecks Steigerung der öffentlichen Reputation – einem Global Code of Responsibility unterwerfen könnten.

7 Risikokommunikation

Der Begriff des Risikos impliziert, daß in einer gesellschaftlichen Debatte versucht wird, die mit möglichen Schäden verknüpften Situationen hinsichtlich ihrer Kosten und Nutzen abzuschätzen und berechenbar zu machen (Kap. B und C) (Evers, 1993). Risiken zeichnen sich zudem dadurch aus, daß sie durch menschliche Handlungen und Entscheidungen entstehen (Luhmann, 1991). Diese gesellschaftliche Debatte wird auch als Risikokommunikation bezeichnet. Sie ist ein Prozeß des Austausches (Mitteilen und Verstehen) von Informationen zwischen den beteiligten Akteuren über Analyse (Wahrnehmung), Definition, Bewertung und den Umgang mit Risiken (Wiedemann et al., 1991). Risikokommunikation im weiteren Sinn ist keine bestimmte Technik oder Strategie, die irgendwo angewandt werden kann. Zunächst ist damit nur die Analyse des gesamten gesprochenen, geschriebenen oder bildhaft dargestellten Informationsaustausches über ein bestimmtes Thema gemeint.

Wie bei jeder Kommunikationsanalyse ist auch bei der Risikokommunikation zu unterscheiden, in welcher Weise wer mit wem über was und mit welchem Ziel kommuniziert. Es macht einen großen Unterschied, ob durch Kommunikation über Risiken aufgeklärt, Wissen ergänzt oder korrigiert werden soll oder ob Kontroversen über die Bewertung und den richtigen Umgang mit Risiken geschürt werden sollen. Über mögliche Folgen eines Chemieunfalls muß anders kommuniziert werden als über langfristige, möglicherweise risikohafte Veränderungen durch eine Klimaerwärmung. Mit kommunalen Entscheidungsträgern, mit Journalisten, mit Umweltschutzverbänden oder mit unmittelbar von einer Umweltkatastrophe Betroffenen wird jeweils unterschiedlich geredet werden müssen. Dabei ist natürlich ganz entscheidend, wer mit diesen verschiedenen Zielpersonen oder -gruppen kommuniziert: ein wissenschaftlicher Experte, ein Behördenvertreter oder der Chef des unfallverursachenden Chemieunternehmens. Schließlich ist auch die Dramaturgie der Kommunikation von Bedeutung, ob sachlich über Ursachen aufgeklärt, ob Emotionen geschürt, ob Mitleid oder Angst erregende Bilder eingebracht oder ob

verharmlosende Risikovergleiche angestellt werden. Zu den verschiedenen Aspekten der Risikokommunikation liegt inzwischen eine stetig wachsende Zahl von Analysen und empirischen Untersuchungen vor (Jungermann et al., 1991; Peters, 1995). Im folgenden werden beispielhaft einige Facetten dieses für die nationale sowie globale Risikopolitik bedeutsamen Instruments der Kommunikation beleuchtet.

7.1

Werte und Normen in der Kommunikation

Im Verlauf von Risikokommunikation kann aufgrund der relevanten personalen, kognitiven und sozialen Faktoren (Kap. E 1.2) häufig kein Konsens zwischen den Akteuren hergestellt werden. Wie bereits ausgeführt wurde (Kap. C und E), ist eine Bewertung von Risiken allein auf der Grundlage „objektiver und wissenschaftlicher“ Daten nicht möglich. Vor allem (unterschiedliche) Werte und Normen sind für die Wahrnehmung, Bewertung und den Umgang mit Risiken maßgeblich. Sie müssen explizit in die kommunikative Auseinandersetzung um Risiken einbezogen werden (Jungermann et al., 1991; Turner und Wynne, 1992; Becker, 1993).

Die Vernachlässigung dieser Dimensionen führt immer wieder zur Verwechslung von Verstehen und Akzeptanz. Dies zeigt sich etwa dann, wenn beispielsweise Expertinnen oder Experten sowie Entscheidungsträger die Sorgen von potentiell betroffenen Personen mit dem Verweis auf ihre vermeintliche Irrationalität nicht ernst nehmen. Der Vorwurf der Irrationalität wird häufig ausgesprochen, wenn Menschen auf ein Risiko mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit, aber hohem Schadensausmaß (z. B. Kernkrafttechnologien) ablehnender reagieren als auf ein Risiko, das tatsächlich bereits viel mehr Opfer gefordert hat (z. B. Straßenverkehr). Wenn Bedenken mit dem Hinweis auf „Irrationalität“ abgetan werden, wird damit häufig die technische Risikoabschätzung (Schadensausmaß x Wahrscheinlichkeit) zur allein gültigen Betrachtungsweise erklärt. Den Betroffenen wird signalisiert, daß alle anderen

Dimensionen wie z. B. Freiwilligkeit, Reversibilität der Schäden oder fairer Ausgleich von Nutzen und Kosten keine Rolle spielen dürfen und nicht ernst genommen werden. Vertrauensverlust und Verhärtung der Fronten im Kommunikationsprozeß sind dann vorprogrammiert. Oftmals wird den Betroffenen vorgeworfen, daß sie – naiverweise – ein Verlangen nach absoluter Sicherheit in ihrem Leben hätten. Das ist aber vielfach nicht das zentrale Problem in der Risikokommunikation. Oft geht es um die mangelnde Glaubwürdigkeit der „Risikoemittenten“, kompetent, verantwortungsvoll und unter Berücksichtigung der Interessen von potentiell Betroffenen mit den Risiken umzugehen (Wynne, 1991).

Für eine tragfähige Aushandlung im Umgang mit Risiken ist es notwendig, daß dabei die Interessen und Werte aller Beteiligten (auch die der Macht- und Mittellosen) Berücksichtigung finden. Risikomanagementstrategien, die das Ziel haben, die Sichtweise einer Interessenpartei durchzusetzen und die Bedenken von potentiell Betroffenen wegzukommunizieren, werden vom Beirat ausdrücklich abgelehnt. Die explizite Berücksichtigung von Werten und Normen im Kommunikationsprozeß trägt der Erfahrung Rechnung, daß Risiken nicht isoliert von dem jeweiligen gesellschaftlichen Kontext betrachtet werden können, in dem sie verhandelt werden. Die Wichtigkeit des bedrohten Guts (z. B. Trinkwasser in wasserarmen oder wasserreichen Gegenden; gesunde Umwelt oder profitable Technologien), religiöse Glaubenssysteme und weitere Lebensumstände (z. B. Angst vor Arbeitsplatzverlust) spielen für den Risikokontext eine Rolle. Diese Werteunterschiede müssen einen angemessenen Stellenwert in der Kommunikation erhalten.

Für eine erfolgreiche Bewältigung der Unsicherheiten bedarf es kollektiver und individueller Lernprozesse, die im Optimalfall zu einer für alle akzeptablen Lösung führen. Um sich diesem Optimalfall anzunähern, sollen kooperative Maßnahmen gewährleisten, daß die Interessen und Werte aller Beteiligten gleichberechtigt verhandelt werden können. Das setzt bei den Akteuren gewisse kommunikative Kompetenzen voraus (Kap. F 7.3). Ebenso muß aber dafür Sorge getragen werden, daß Ressourcen wie Wissen, Möglichkeiten des Wissenserwerbs, Bewältigungskompetenzen in belastenden Situationen, eine Vielfältigkeit der Handlungsoptionen usw. ebenso allen Beteiligten zur Verfügung stehen. Das bedeutet oftmals, daß aktiv Sorge dafür getragen werden muß, daß infolge von Armut, mangelnder Bildung oder soziopolitischem Status schwächere und besonders verwundbare Gruppen (Kap. E 2) die notwendigen Ressourcen für eine Risikobewältigung erwerben können (Kap. F 6).

7.2

Kommunikative Kompetenzen

Risikokommunikation ist durch eine Vielzahl von möglichen Konflikten gekennzeichnet, die in der Situation begründet liegen (z. B. Konflikte über Sachverhalte oder über Zieldimensionen) (von Winterfeld und Edwards, 1984). Sie sind ausführlicher im letzten Gutachten des Beirats dargestellt worden (WBGU, 1998a). Bei all diesen Konflikten sowie bei den oben genannten Aspekten (Glaubwürdigkeit oder Thematisierung von Normen und Werten), spielen immer wieder grundlegende Kommunikationsprobleme eine Rolle. Kommunikationsprobleme liegen oft darin begründet, daß die grundsätzliche Kluft zwischen Sender und Empfänger einer Nachricht übersehen wird. In der zwischenmenschlichen Kommunikation kommt eine Nachricht in der Regel kaum jemals in der gleichen Weise beim Empfänger an, wie sie vom Sender abgesandt bzw. intendiert wurde (Luhmann, 1988; Watzlawick et al., 1993). Das bedeutet nun nicht, daß grundsätzlich keine Verständigung möglich ist; dem würde jede Alltagserfahrung widersprechen. Eine erfolgreiche Kommunikation muß eher an ihrer Funktionalität gemessen werden: Wie gut finden die einzelnen Akteure ihre Anliegen erfüllt? Dabei können viele Mechanismen wirken, die eine Verständigung in diesem Sinn erschweren.

Eine auf klassischen Kommunikationsmodellen aufbauende Darstellung von Sender-Empfänger-Problemen bietet das „Nachrichtenquadrat“ (Schulz von Thun, 1993). Darauf soll im folgenden kurz eingegangen werden, da die Kenntnis der möglichen Ursachen von Kommunikationsproblemen eine Lösung erst möglich macht. Kommunikation bzw. das Senden und Empfangen von Nachrichten kann auf 4 Ebenen bzw. hinsichtlich von 4 Zielfunktionen stattfinden: der Sachebene, der Beziehungsebene, der Selbstdarstellungsebene und der Appellebene (Abb. F 7.3-1). Diese Ebenen und Funktionen sind nicht strikt voneinander zu trennen; in der Regel schwingen in einer Nachricht alle Ebenen sowohl beim Senden als auch beim Empfangen der Nachricht mit.

Auf der *Sachebene* geht es um die Darstellung von Informationen (Kap. F 7.4). In vielen Fällen können sich verschiedene Akteure auf die Feststellung einer Tatsache einigen („die Ampel ist grün“). Bei der Auseinandersetzung um Risiken, bei der es um sehr komplexe Sachverhalte geht, werden von unterschiedlichen Akteuren Risiken unterschiedlich benannt und bewertet. So kommt es schon auf dieser Ebene oft zu Auseinandersetzungen über die Sache wie über die richtige Methode und die Interpretation der damit erzielten Ergebnisse.

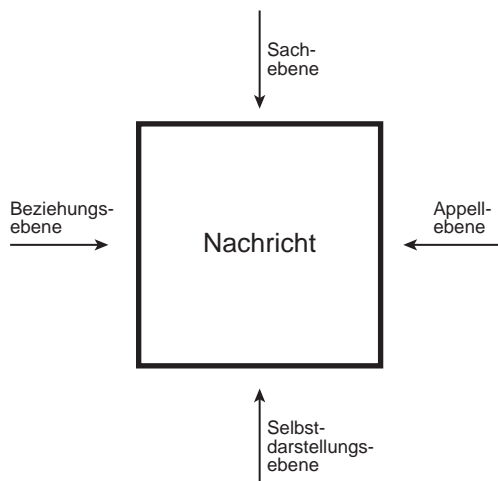


Abbildung F 7.3-1
Das Nachrichtenquadrat.
Quelle: Schulz von Thun, 1993

Auf der *Beziehungsebene* geht es um das – in der Regel nicht direkt thematisierte – Verhältnis der Akteure zueinander. So kann beispielsweise mit der rhetorischen Frage: „Gehe ich richtig in der Annahme, daß...“ gemeint sein wie auch gehört werden: „Ich halte Sie für naiv bzw. clever!“ Besonders Gespräche, in denen sich die Beteiligten, häufig in der Begrifflichkeit der Sachebene, ihre gegenseitige Mißachtung zum Ausdruck bringen, sind kontraproduktiv, v. a. dann, wenn das eigentliche Ziel darin besteht, sich über einen Sachverhalt zu einigen. In der Regel ist es hilfreich, die Art der Beziehung und die gegenseitigen Hypothesen darüber, offenzulegen und damit handhabbar zu machen.

Auf der *Selbstdarstellungsebene* versuchen die Akteure ihre Person in einer bestimmten Weise zu präsentieren, beispielsweise als kompetent, als vertrauenswürdig, als mitfühlend. Dazu werden häufig auch nonverbale Mittel (Gesichtsausdruck, Körperhaltung, Tonfall, Kleidung) eingesetzt. Auch hier gilt, daß das, was gesendet wird, nicht unbedingt so empfangen wird. Zum Beispiel werden Personen, von denen wir das Gefühl haben, sie wollen glaubwürdig erscheinen, oftmals gerade nicht dafür gehalten. Ebenso werden, ganz unabhängig davon, wie ein Sender sich vielleicht darstellen möchte, negative und positive Stereotypen bei der Wahrnehmung einer Person wirksam („komplizierte Ausdrucksweise und elegant gekleidet = arrogant“). Mit der „Sachinformation“ wird bei jeder Nachricht immer auch eine Selbstdarstellung gesendet und empfangen. Es ist sogar möglich, daß manche Empfänger kein Ohr für die Sachinformation haben, sondern ausschließlich die Selbstdarstellung wahrnehmen und im ungünstigen Fall die gesamte Nachricht negativ bewerten.

Auf der *Appellebene* wird versucht, emotionales und kognitives Verhalten zu verändern. So kann die Darstellung geringer Gefahren einer Technologie auch als Aufruf verstanden werden: „Gebt Euren Protest auf“.

Mit Aufklärungskampagnen wird häufig der Appell verknüpft „Schützt Euch vor dieser Gefahr“. Gerade im Bereich der Risikokommunikation werden Nachrichten oft auf der Appellebene verstanden, die im Fall der Ablehnung des Appells zu starken Reaktionen führen, die sich der oder die „Sachebenen-Sendende“ gar nicht erklären kann oder können. Eine besondere Rolle spielen sog. Furchtapelle, in denen durch beängstigende Dramatisierungen des als Risiko behandelten Sachverhalts die Adressaten zu affektiven Reaktionen veranlaßt werden. Zu gravierenden Störungen kommt es dann, wenn der Sender auf einer ganz anderen Ebene kommuniziert als der Empfänger und vice versa.

Risikokommunikation findet zum großen Teil in der Öffentlichkeit statt. Dort können Kommunikationsschwierigkeiten durch erfahrene Moderatorinnen oder Mediatoren z. T. aufgefangen werden. In vielen Fällen führt die Überzeugung, daß jemand etwas genauso gemeint habe, wie er es gesagt hat, zu tiefen Gräben des Unverständnisses und der Frontenverhärtung. Von daher sollten Personen, die im Bereich der Risikokommunikation tätig sind (Öffentlichkeitsreferentinnen, Mitglieder in Nichtregierungsgruppen usw.) in Schulungen für die Grundlagen der Kommunikation sensibilisiert werden.

7.3 Darstellung von Risiken

Glaubwürdigkeitsstrategien

In der Regel bemühen sich Kommunikatoren darum, den Eindruck der Glaubwürdigkeit zu erwecken und aufrechtzuerhalten. Dieser Eindruck wird jedoch untergraben, wenn uneinheitliche und widersprüchliche Informationen über Risiken gegeben werden. So divergieren Experteneinschätzungen über Folgeschäden besonders in Fällen, in denen das Ausmaß der Schadensfolgen gegen unendlich gehen könnte und die Abschätzungssicherheit sehr gering ist. Häufig wird versucht, den damit einhergehenden Glaubwürdigkeitsverlust der Informationsquellen (Firmen, Wissenschaftler, Verbände, Institute usw.) aufzuhalten, indem massiv auf Kompetenzen und Fähigkeiten, die vorhandenen Risiken beherrschen zu können, hingewiesen wird (Werbekampagnen der chemischen Industrie, Gentechnologie) (Becker, 1993). Glaubwürdigkeit basiert aber nicht nur auf Kompetenz. Sie wird auch an der Offenheit der Informationen, der Fairneß im Umgang mit anderen Meinun-

gen, der Berücksichtigung gesellschaftlich relevanter Werte und der Übereinstimmung zwischen Worten und Taten gemessen (Wiedemann et al., 1991). Die Bereitschaft von Risikoverursachern und Entscheidungsträgern, in einen offenen Dialog über die Risiken und Chancen z. B. einer neuen Technologie einzusteigen, trägt zu einer angemessenen Auseinandersetzung bei.

Informationsstrategien

Informationsstrategien bemühen sich um eine angemessene Risikodarstellung. Dazu sind konkrete Vorschläge gemacht worden, die von allen Akteuren, die über Risiken informieren wollen, beachtet werden sollten (Ruff, 1993). Wie müssen Informationen über Risiken gestaltet sein, damit die Empfänger sie richtig verstehen? In Kasten F 7.4-1 sind Richtlinien zur Darstellung von Risiken und Schäden aufgeführt, deren Beachtung die Akzeptanz der Informationen erhöht.

Oftmals wird zur Vermittlung von Risiken – im Dienst der Veranschaulichung – auf Vergleiche mit besser vorstellbaren oder bekannten Sachverhalten zurückgegriffen. Dabei muß beachtet werden, ob die gewählten Vergleiche angemessen und damit akzeptabel sind. Durch die Wahl von verschiedenen Bezugsgrößen können Risiken in der Darstellung vergrößert oder verkleinert werden (z. B. erwartete Todesfälle innerhalb von 1 oder von 30 Jahren, Unterteilung in bestimmte Betroffenengruppen wie Kinder oder alte Menschen oder bezogen auf die Gesamtbevölkerung). Die gewählte Bezugsgröße muß dem Alltagskontext der Zielgruppe entsprechen, wenn das Risiko angemessen dargestellt und verstanden werden soll. Dabei sollte z. B. auf Vergleiche verzichtet werden, in denen versucht wird, Akzeptanz durch den Bezug auf ein bereits akzeptiertes Risiko zu erreichen. Das folgende Beispiel verdeutlicht einen solchen Risiko-Risiko-Vergleich: „Das Lungenkrebsrisiko durch Asbest ist bei einer lebenslangen Exposition in einer Atemluft mit 1.000 Fasern m⁻³

gleich zu bewerten wie das Raucherkrebsrisiko bei einem Zigarettenkonsum von jährlich 3 Zigaretten“ (Ruff, 1993). In Tab. F 7.4-1 sind Risikovergleiche nach ihrer vermutlichen Akzeptabilität klassifiziert. Wenn immer es möglich ist, sollten Risikovergleiche der Kategorie 1 verwandt werden, ggf. auch solche der Kategorie 2 oder 3; dabei muß jedoch beachtet werden, daß diese möglicherweise nicht angenommen werden.

7.4

Akteure der Risikokommunikation

Das Feld der Risikokommunikation, in dem die oben genannten Aspekte relevant werden können wird durch verschiedene Akteure (Wissenschaft, Behörden usw.) aufgespannt (Rohrman, 1991). Die Ziele und Interessen solcher Akteure variieren in Abhängigkeit von den zu verhandelnden Inhalten (Stoffrisiken, Technologierisiken, biologische und medizinische Risiken usw.) und werden daher nur exemplarisch dargestellt. Auch kann hier nur kurz auf mögliche Interaktionen zwischen den verschiedenen Akteuren eingegangen werden, da dies nur im Zusammenhang mit den verschiedenen Inhalten sinnvoll erscheint. Jede an der Risikokommunikation beteiligte Gruppe bietet Ansatzpunkte, diese Kommunikation erfolgreicher zu gestalten. Als erfolgreich wird der Kommunikationsprozeß dann angesehen, wenn alle an dem Prozeß interessierten Gruppen gleichberechtigt teilnehmen und wirksam werden können. Unter Berücksichtigung der in Kap. F 7.2 aufgeführten Aspekte werden für jeden Akteur Maßnahmen vorgeschlagen.

Verursacher

Organisationen oder Personen verursachen Risiken durch ihre Handlungen. Dazu zählen beispielsweise Unternehmen, die gefährliche Technologien anwenden oder herstellen (z. B. Kernkraftanlagenbetrei-

Kasten F 7.4-1

Richtlinien für Risiko- und Schadensdarstellungen

Gebot der Richtigkeit: Benutze gültige und zuverlässige Daten.

Gebot der Fairneß: Wähle die Bezugsgrößen, die auf das Risiko der Betroffenen zugeschnitten sind. Der Bezug auf das allgemeine Risiko in der Bevölkerung ist z. B. irreführend, wenn die Risiken in der Nachbarschaft einer Müllverbrennungsanlage oder eines Kraftwerks debattiert werden.

Gebot der Vollständigkeit: Wenn bei Entscheidungen um Technologien neben unmittelbaren Todesfallrisiken auch

Langzeitrissen und Risiken für die Umwelt von Bedeutung sind, so sind diese anzugeben.

Gebot der Verständlichkeit: Risikoangaben müssen verständlich formuliert werden. So ist die Information, es bestehe ein Risiko von 0,0018 weniger verständlich als die Information, es bestehe nur für 2 von 1.000 Personen ein Risiko.

Gebot des relevanten Risikovergleichs: Bei Risikovergleichen ist darauf zu achten, daß Vergleiche gewählt werden, die aus der Sicht von Laien auch vernünftig sind und nicht gegen deren Wahrnehmungsgewohnheiten verstoßen. Es ist beispielsweise nicht richtig, unfreiwillige Risiken mit freiwillig übernommenen Risiken zu vergleichen.

Quelle: Ruff (1993)

Tabelle F 7.4-1
Leitfaden für Risikovergleiche.
Quelle: Ruff, 1993

Typen des Risikovergleichs	Beispiele
RISIKOVERGLEICHE 1. WAHL (AM EHESTEN AKZEPTABEL)	
<ul style="list-style-type: none"> • Vergleiche des gleichen Risikos zu 2 verschiedenen Zeitpunkten • Vergleiche mit einem Standard • Vergleiche mit verschiedenen Schätzungen des Risikos 	<p>Das Gesundheitsrisiko durch den Luftschadstoff X ist 40% geringer als vor der Installation der Rauchgasreinigungsanlage</p> <p>Die Exposition der Fabrikarbeiter liegt deutlich unter dem MAK-Wert (gesetzlich festgelegte Maximale Arbeitsplatzkonzentration)</p> <p>Unsere beste Schätzung des Risikos ist x, die Schätzung der Enquete-Kommission ist y, die des Forschungsinstituts ist z</p>
RISIKOVERGLEICHE 2. WAHL	
<ul style="list-style-type: none"> • Vergleiche des Risikos bei der Durchführung bzw. Nichtdurchführung einer Maßnahme • Vergleiche alternativer Lösungen für das gleiche Problem • Vergleiche mit dem gleichen Risiko an anderen Orten 	<p>Wenn wir die neueste und fortschrittlichste Umweltschutztechnik einsetzen, ist das Risiko x; wenn wir sie nicht einsetzen und beim derzeitigen Standard blieben, ist das Risiko y</p> <p>Das mit einer Müllverbrennungsanlage verbundene Risiko ist x. Das Risiko bei einer Deponierung des Mülls ist y</p> <p>Das größte Luftverschmutzungsproblem besteht in Berlin; unser Luftverschmutzungsproblem ist nur halb so groß wie das Problem Berlins</p>
RISIKOVERGLEICHE 3. WAHL	
<ul style="list-style-type: none"> • Vergleiche eines durchschnittlichen Risikos mit einem Spitzenrisiko an einem bestimmten Ort oder zu einem bestimmten Zeitpunkt • Vergleiche der Gefährdung durch eine bestimmte Risikoquelle mit der Gefährdung durch alle Risikoquellen, die zu dem in Frage stehenden Schaden führen können 	<p>Das Gesundheitsrisiko durch den Luftschadstoff y für den durchschnittlichen Gemeinbewohner ist 90% geringer als das Risiko für die Fabrikarbeiter</p> <p>Das Lungenkrebsrisiko durch den Luftschadstoff x beträgt ungefähr %₀₀ unseres gesamten Lungenkrebsrisikos</p>
RISIKOVERGLEICHE 4. WAHL (NUR SELTEN AKZEPTABEL)	
<ul style="list-style-type: none"> • Vergleiche von Risiken mit Kosten oder eines Risiko-Kosten-Verhältnisses mit einem anderem Risiko-Kosten-Verhältnis • Vergleiche von Risiko und Nutzen • Vergleiche von beruflichen mit Umweltrisiken • Vergleiche mit anderen Risiken, die von der gleichen Risikoquelle ausgehen • Vergleiche mit anderen spezifischen Ursachen der gleichen Erkrankung oder Verletzung 	<p>Durch die Elimination von Asbest in Schulgebäuden würde die Rettung eines Menschenlebens y DM kosten, wogegen die Rettung eines Menschenlebens durch die Bereitstellung mobiler Herzinfarktbehandlungseinrichtungen nur z DM kosten würde</p> <p>Die Chemikalie x, bei deren Entsorgung der Luftschadstoff y frei wird, wird in Krankenhäusern zur Sterilisation von chirurgischen Instrumenten benutzt und trägt auf diese Weise zur Rettung vieler Menschenleben bei</p> <p>Die Anwohner sind geringeren Konzentrationen des Luftschadstoffs x ausgesetzt als unsere Werksmitarbeiter, und medizinische Tests im Werk zeigen keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen</p> <p>Unser Problem mit dem Luftschadstoff x ist nicht ernster als unser Problem mit dem Luftschadstoff y, der in dieser Anlage ebenfalls freigesetzt wird und den die Anwohner schon lange akzeptiert haben</p> <p>Der Luftschadstoff x verursacht viel weniger Krebsfälle als die natürliche Hintergrundstrahlung des geologischen Radons</p>
RISIKOVERGLEICHE 5. WAHL (NUR GANZ SELTEN AKZEPTABEL)	
<ul style="list-style-type: none"> • Alle Vergleiche, die sachfremd sind oder gegen Legitimitätsgrundsätze von Laien verstoßen • Insbesondere Vergleiche von 2 oder mehreren Risiken, die in keiner Beziehung zueinander stehen 	<p>Das gesundheitliche Risiko durch den Luftschadstoff x ist geringer als das Risiko beim Autofahren oder Rauchen</p> <p>Deshalb folgt: (a) das Risiko durch den Luftschadstoff x muß logischerweise eher akzeptabel sein, und (b) Menschen, die Auto fahren oder rauchen, haben ihr Recht verwirkt, gegen den durch die Anlage freigesetzten Luftschadstoff x anzugehen</p>

ber), Stoffe emittieren oder (unsachgemäß) benutzen (FCKW-haltige Substanzen, Pestizide, Gefahrguttransporte). Auch Forschungseinrichtungen (Versuchsreaktoren, Labors für gentechnische Untersuchungen) sind hier zu nennen. Verursacher können ihren Beitrag zu einer offenen und fairen Auseinandersetzung um Risiken leisten, indem sie sich auf einen Dialog mit den Betroffenen einlassen und auf einseitige Akzeptanzstrategien verzichten. Neben den lokalen Aktivitäten, die Unternehmen selbst organisieren können, wie etwa die Einrichtung von Gesprächskreisen oder Frageforen mit Anwohnerinnen und Anwohnern, können auch formalisiertere Verfahren sinnvoll sein. Analog zur Umweltverträglichkeitsprüfung könnte über eine Risikoverträglichkeitsprüfung nachgedacht werden. Risikoüberprüfungen werden bereits vom TÜV durchgeführt, allerdings gibt es in den meisten Ländern keine vergleichbaren Institutionen. Sie müßten also mit der Zielsetzung gegründet werden, eine Risikoverträglichkeitsprüfung (RiVP) zu leisten. Die RiVP-Ergebnisse könnten dann in einen nationalen Risikobericht einfließen oder von einem nationalen Risk Assessment Panel (Kap. F 6) zusammengetragen und der Öffentlichkeit vermittelt werden.

Des weiteren stellt sich die Frage, inwiefern Verursacher verpflichtet werden können (bzw. bereit sind, sich selbst zu verpflichten), aktiv für einen Ressourcenausgleich der potentiell Betroffenen oder der interessierten Öffentlichkeit zu sorgen. Denkbar wäre z. B., daß bereits während der Entwicklung einer neuen Technologie Mittel reserviert werden müssen, die für eine umfassende Aufklärung und Organisation der interessierten Öffentlichkeit genutzt werden. Voraussetzung ist allerdings, daß diese Mittel von einer unabhängigen Institution verwaltet werden. Betroffene oder NRO sollten dann in den Entscheidungsprozeß über die Anwendung der zur Debatte stehenden Technologie mit einbezogen werden. Auf diesem Weg könnte ein Beitrag zu einer gerechteren Verteilung der Kosten und Nutzen von Risikotechnologien geleistet werden. Als weiteres Mittel, die Verursacher von Risiken in die Verantwortung für ihre Handlung zu nehmen, steht das Haftungsrecht zur Verfügung (Kap. F 2).

Betroffene

Betroffene sind Personen, die Risiken (potentiell) ausgesetzt sind. Dazu zählen beispielsweise Anwohner von Industrieanlagen, Nutzerinnen und Nutzer von Produkten (Medikamente, gentechnisch hergestellte Nahrungsmittel), Bewohner von Trockenregionen, Küstenregionen oder Flußregionen. Kommunikative Auseinandersetzungen werden für Betroffene dann besonders relevant, wenn es auf der „anderen Seite“ Verursacher gibt, denen die Entste-

hung des Risikos zugeschrieben werden kann. Dies ist in der Regel bei „natürlichen“ Risiken und auch bei Risiken, für die sich kein eindeutiger Verursacher finden läßt (Klimawandel, Seuchen usw.), nicht der Fall. Der Schwerpunkt der folgenden Betrachtung liegt also auf Risiken durch Technologien (Risikotyp Damokles). Potentiell Betroffene einer Risikotechnologie müssen sich in der Regel „ehrenamtlich“ mit dem entsprechenden Thema auseinandersetzen, während die potentiellen Risikoemittenten sich „hauptamtlich“ mit der Voranbringung ihrer Pläne beschäftigen können. In der Regel sind sie mit entsprechenden Ressourcen gut ausgestattet.

Ein Versuch, eine weitgehende Chancengleichheit in einem Risikoaushandlungsprozeß herzustellen, kann mit sog. diskursiven Verfahren (Mediation, Runde Tische, Gesprächskreise) unternommen werden (Kap. F 8). Die Verfahren sind ergebnisoffen und legen lediglich fest, in welcher Weise die beteiligten Personen und Gruppen ihre Entscheidungen treffen. In einem Mediationsverfahren kann ein bestehendes Ressourcenungleichgewicht oftmals aufgefangen werden. Durch die Formalisierung und Leitung des Prozesses durch einen Mediator wird sichergestellt, daß Wissensvorsprünge einer Seite nicht sofort entscheidungswirksam werden können, da sie von den anderen Beteiligten nachvollzogen werden müssen und auf ihre Gültigkeit überprüft werden. Auch wird dafür Sorge getragen, daß unterschiedliche Interpretationsmuster und Wertsysteme gleichberechtigte Rollen einnehmen und nicht diejenige Wertauffassung dominieren kann, die am professionellsten vorgebracht wird.

Die Frage des Ressourcenausgleichs wird besonders relevant, wenn die Lage in den Entwicklungsländern bedacht wird. In Ländern, in denen kein Haftungsrecht oder etwas Vergleichbares existiert oder keine rechtsstaatlichen Instrumente wirksam werden können (Staats- und Politikversagen), haben die Betroffenen keine Handlungschancen. Sie haben unter diesen Bedingungen keine Chance, sich gegen die Zerstörung ihrer Lebensgrundlagen durch die Übermacht kapitalkräftiger Konzerne zu wehren. Das Beispiel von Shell in Nigeria legt ein trauriges Zeugnis ab. Hier bedarf es u. a. der Schaffung von internationalen Standards, an die weltweit tätige Konzerne gebunden sein müssen (Kap. F 6).

Nichtregierungsorganisationen (NRO)

Im engeren Sinn sind hiermit Interessenverbände gemeint, die sich zwar nicht unmittelbar betroffen fühlen, sich aber entweder langfristig bedroht sehen (z. B. durch den globalen Klimawandel) oder sich als Anwälte von bedrohter Natur verstehen. Von diesen Organisationen aus gibt es einen fließenden Übergang zur „interessierten Öffentlichkeit“ (Rohrmann,

1991), die zwar nicht verbindlich organisiert ist, aber ebenfalls ein Mobilisierungspotential besitzt. Die Einflußmöglichkeiten der NRO sollten auch auf der internationalen Verhandlungsbühne gestärkt werden. Ein Zusammenschluß zu einem Netzwerk, das die relativ heterogenen Gruppen gut repräsentiert, scheint eine effiziente Möglichkeit zu sein.

Ein gutes Beispiel dafür bietet die Einrichtung des „Forums Umwelt und Entwicklung deutscher Nichtregierungsorganisationen“ in Bonn, das mit seinen Arbeitsgruppen zu den einzelnen Themenbereichen des Globalen Wandels (z. B. Klima, soziale Entwicklung, Biodiversität, Desertifikation, Meere, Handel) auf vielfältige Weise in die internationalen Verhandlungsprozesse eingebunden ist. Zwar besteht im Hinblick auf die Verhandlungsmacht keine Gleichberechtigung mit den Regierungsvertretern, den NRO ist aber in den vergangenen Jahren ein wachsendes Gewicht zugekommen. Diese Beteiligungsrechte werden nicht zum Selbstzweck gewährt, sondern haben ihren Ursprung darin, daß der Umsetzung der Vereinbarungen auch durch die NRO eine wachsende Bedeutung zukommt. Ein Beispiel hierfür ist die Desertifikationskonvention. Auf der ersten Vertragsstaatenkonferenz 1997 wurde erstmals eine gemeinsame Sitzung von NRO und offiziellen Regierungsvertretern im Rahmen einer offiziellen Plenarsitzung abgehalten und verabredet, dieses Novum in der Geschichte von Konventionsverhandlungen in den Folgejahren fortzusetzen. Schulungs- und Fortbildungsmaßnahmen zum Thema Kommunikation sollten zur Unterstützung der NRO etabliert werden. Dabei sollten besonders die psychologischen Aspekte der Risikowahrnehmung (Kap. E 1.2) Berücksichtigung finden.

Regulative Instanzen

Regulative Instanzen sind staatliche oder zwischenstaatliche Institutionen, die die Rahmenbedingungen für den Umgang mit Risiken schaffen oder für deren Rahmenbedingungen verantwortlich sind (z. B. Parlamente, Aufsichtsbehörden, Ämter, Kommissionen). Ein Beispiel für die Schaffung solcher Rahmenbedingungen ist die Einführung des Bürgerentscheids bei bestimmten kommunalen Entscheidungen. Als Beispiel für eine zwischenstaatliche Regelung, die u. a. Maßstäbe für die Informationspflicht von Unternehmen setzen kann, sollte ein Risk Assessment Panel (Kap. F 6) eingeführt werden. Dieses soll beispielsweise im Rahmen von Risikoberichten das Risikopotential von großindustriellen Anlagen, gentechnischen Versuchen, die Gefährdung von Küstenzonen durch den Klimawandel oder das Risiko von Nahrungskrisen durch Dürre oder Bodendegradation auf der Grundlage unabhängiger wissen-

schaftlicher Expertisen bewerten und nach außen kommunizieren.

Wissenschaft

Hier sind an Universitäten oder Forschungsinstituten tätige Personen gemeint, die über Expertenwissen in Bezug auf die Analyse oder Auswirkungen von Risiken verfügen. Hierzu zählen auch selbständige Sachverständige und wissenschaftlich-technische Gremien (Enquete-Kommissionen, Beiräte usw.). Besonders für Experten gelten die Regeln zur Darstellung von Risiken und zur Auswahl von Risikovergleichenen (Kap. F 7.3), wenn es um die Aufklärung der Öffentlichkeit geht. Wer die jeweilige Öffentlichkeit (Zielgruppe) ist, sollte beachtet und differenziert wahrgenommen werden. In verschiedenen Subgruppen sind andere Themen und Sprachstile maßgeblich. Ein wesentliches Ziel des Wissenstransfers in die Öffentlichkeit muß Transparenz über die anstehenden Entwicklungen, Chancen und Risiken sein. Den schon bestehenden wissenschaftlichen Gremien (Beiräte, Technikfolgenabschätzung, Enquete-Kommissionen usw.) könnten verstärkt Ressourcen zur Verfügung gestellt werden, um diese Öffentlichkeitsarbeit effizient leisten zu können.

Auch der wissenschaftsinterne Informationsfluß scheint ausbaufähig zu sein (WBGU, 1996b). Eine Verbesserung der wissenschaftsinternen Kommunikation ist sicher keine Voraussetzung für eine gelungene Außenkommunikation (allein aufgrund der Vielschichtigkeit der Wissenschaft ist das schwer zu erreichen), aber eine erfolgreiche Vernetzung könnte zu einer Effektivierung der Außenkommunikation beitragen. Ein gutes Beispiel für eine transparente Wissenserzeugung in der wissenschaftlichen Behandlung von Problemen des Globalen Wandels ist die Aufarbeitung des neuesten Stands der Klimaforschung durch den Zwischenstaatlichen Ausschuß über die Klimaänderungen (IPCC). An den IPCC-Berichten, die den aktuellen Stand der Klimaforschung aufarbeiten und das derzeit beste verfügbare Wissen darstellen, sind jeweils mehrere 1.000 Wissenschaftler beteiligt. Die Erstellung der Expertisen unterliegt einem Begutachtungsverfahren, das allen beteiligten Wissenschaftlern ermöglicht, ihr Wissen einzubringen. Ein solches formal regierungsunabhängiges Wissenschaftlergremium könnte für andere Risikobereiche eingerichtet werden (z. B. für die Biodiversitätskonvention und die Desertifikationskonvention), wobei Sorge dafür getragen werden sollte, die Ergebnisse der Öffentlichkeit gut zugänglich zu machen.

Medien

Rundfunk, Fernsehen, Printmedien oder Sachbücher vermitteln Informationen über Risiken und Chancen

an die Öffentlichkeit. Den Medien kommt in der Kommunikation über Risiken besonders dann eine wichtige Rolle zu, wenn es um die Darstellung von bisher unbekanntem oder nicht wahrnehmbarem Risiken geht. Darauf wurde ausführlich in Kap. E 1.2 eingegangen. Im Sinn einer möglichst angemessenen Risikokommunikation ist es erforderlich, daß sich die Vielfalt der Meinungen zu einem Thema auch in den Medien widerspiegeln kann. Das heißt, daß eine Medienzensur oder eine dem gleichkommende Instrumentalisierung durch ein Meinungsmonopol verhindert werden sollte. Wesentlich ist aber, daß die Medien diese Rolle auch durch eine genaue und sachgerechte Darstellung der Sachverhalte angemessen wahrnehmen. Eine verstärkte Zusammenarbeit zwischen Medien und Wissenschaft ist gerade im Bereich der Risikokommunikation noch ausbaufähig.

8 Diskursive Verfahren

8.1 Leistungsfähigkeit diskursiver Verfahren

Die Tatsache, daß über einen Gegenstand intensiv geredet wird, macht noch keinen Diskurs aus. Diskurse sind Formen verständigungsorientierter Kommunikation, in denen Aussagen von Argumenten nach festgelegten Regeln auf ihre Gültigkeit hin ohne Ansehen der Person und ihres Status untersucht werden (Habermas, 1971, 1992).

Diskurse sind keine Allheilmittel für alle Probleme unserer Zeit. Ebenso wenig können Diskurse die Probleme von Unsicherheit und Ungewißheit der Risikoabschätzung und -bewertung aus der Welt schaffen (Giegel, 1992). Die Tatsache, daß sich Konfliktparteien um einen Runden Tisch versammeln und miteinander sprechen, hat für sich allein genommen kaum dazu beigetragen, einen Sachverhalt zu klären, zu neuen Einsichten zu gelangen oder einen Konflikt zu lösen. Vielmehr ist es wesentlich, daß in einem solchen diskursiven Verfahren die Sachfragen auf der Basis nachvollziehbarer Methodik geklärt, die Bewertungsfragen erörtert und die Handlungsfolgerungen konsistent abgeleitet werden (Burns und Überhorst, 1988; Renn und Webler, 1998).

Diskurs und Konsensorientierung werden in der Öffentlichkeit oft mißverstanden. „Wieder eine neue Quasselbude“, meinen die einen, „ein weiterer Beleg für die Führungsschwäche der Politik“, meinen die anderen (Weinrich, 1972). Beide Vorwürfe sind zwar gemessen an der Praxis vieler Diskurse berechtigt, verfehlen aber die innere Logik und die immanente Leistungsfähigkeit diskursiver Konfliktaustragung. Diskurs bedeutet nicht: Einigung auf den kleinsten, meist trivialen Nenner. Es geht vielmehr um eine Konfliktaustragung, bei der die Argumente in aller Klarheit und, wenn notwendig, auch in aller Schärfe ausgetauscht und die unterschiedlichen Werte und Interessen dargelegt werden. Häufig enden diese Diskurse nicht mit einem Konsens, sondern mit einem Konsens über den Dissens. In diesem Fall wissen alle Teilnehmer, warum die eine Seite für eine Maßnahme und die andere dagegen ist. Die jeweiligen

Argumente sind dann aber im Gespräch überprüft und auf Schwächen und Stärken ausgelotet worden. Die verbleibenden Unterschiede beruhen nicht mehr auf Scheinkonflikten oder auf Fehlurteilen, sondern auf klar definierbaren Differenzen in der Bewertung von Entscheidungsfolgen (Schimank, 1992). Alle Parteien wissen, was sie sich mit ihren Präferenzen für die eine oder andere Lösung an erwartbaren Konsequenzen einhandeln werden, mit allen Unsicherheiten, die damit verbunden sind. Das Ergebnis eines Diskurses ist mehr Klarheit, nicht unbedingt Einigkeit.

Auch wenn das Ergebnis eines Diskurses auf Dissens hinausläuft, ist dieses Ergebnis für die Entscheidungsfindung in Wirtschaft und Politik ebenso bedeutsam wie ein von allen getragener Konsens. In beiden Fällen können die legalen Entscheidungsträger abgewogene und im klassischen Sinn rationale Entscheidungen fällen. Bei konsensualen Vorschlägen ist dies weniger schmerzhaft, bei Dissens müssen die Entscheidungsträger unter Rückgriff auf übergeordnete Werte oder ihren eigenen programmatischen Ansatz der einen oder anderen Lösung den Vorzug geben. In der Demokratie können ebensowenig wie in allen anderen Staatsformen immer alle gewinnen. Ist der Dissens deutlich und argumentativ begründet, dann ist die in der Politik allenthalben geforderte Führungsstärke gefragt. Entschieden werden muß so oder so. Diese Entscheidungen jedoch auf der Basis einer diskursiven Auseinandersetzung fällen zu können, verbessert nicht nur die Ergebnisse der Entscheidung, es wächst auch die Chance für eine höhere Akzeptanz, selbst bei denen, die sich mit ihren Präferenzen nicht haben durchsetzen können.

Das Ideal des Diskurses beruht auf der Annahme, daß eine Einigung zwischen Interessengegensätzen und Wertkonflikten unterschiedlicher Parteien erzielt werden kann, ohne daß eine Partei ausgeschlossen wird oder ihre Interessen oder Werte unberücksichtigt bleiben. Sinn eines solchen Diskurses ist es, Optionen für kollektive Entscheidungen nach dem Grad ihrer Wünschbarkeit zu bewerten. Dabei wird es Konflikte unter den Diskursteilnehmern geben. Verständigung wird aber möglich, wenn folgende Be-

dingungen erfüllt sind (Bacow und Wheeler; 1984; Renn und Webler; 1998):

1. Alle am Diskurs beteiligten Parteien haben gleiche Rechte und Pflichten.
2. Alle Beteiligten legen einstimmig fest, nach welchem Verfahren Einigung über kollektiv bindende Entscheidungen getroffen werden sollen.
3. Alle in die Verhandlung eingebrachten Tatsachenbehauptungen müssen nachgewiesen oder durch entsprechende Experten (wobei je nach Wissenstyp nicht nur Wissenschaftler in Frage kommen) bestätigt werden, wobei unsichere, nicht eindeutig nachweisbare oder widerlegbare Aussagen in den Diskurs eingebracht werden dürfen.
4. Unterschiedliche Interpretationsmuster und Wertsysteme sind gleichberechtigt, sofern sie nicht den Regeln der Logik und anderer formaler Argumentationsregeln widersprechen.
5. Alle Beteiligten sind im Grundsatz bereit, die eigenen Interessen und Werte offenzulegen.
6. Alle Beteiligten sind willens, eine faire Lösung des Konflikts anzustreben, bei der alle Interessen und Werte grundsätzlich als legitim und verhandlungswürdig anerkannt werden, ohne damit die Notwendigkeit der Begründung von Interessen oder Werten infrage zu stellen.

Diskursive Verfahren werden heute sowohl auf lokaler, regionaler, nationaler als auch internationaler Ebene eingesetzt. Voraussetzung dafür ist aber, daß eine überschaubare Anzahl von Akteuren als Delegierte von Interessengruppen oder als Vertreter der allgemeinen Öffentlichkeit miteinander verhandeln können. Diskurse sind in der Regel informell, d. h. sie sollten im Vorfeld der politischen Entscheidungsfindung angesiedelt werden. Gerade im internationalen Bereich können solche informellen Verhandlungen mit betroffenen Gruppen oder Parteien den Weg zu einer anschließenden politischen Einigung ebnen.

8.2

Klassifikation von Diskursen

In der Literatur finden sich viele verschiedene Klassifikationssysteme für Diskurse (Bacow and Wheeler, 1984; Burns und Überhorst, 1988; Zilleßen, 1993). Man kann sich beispielsweise über Sachverhalte, über Bewertungen, über Handlungsforderungen oder über ästhetische Urteile streiten. Für die Frage nach dem Umgang mit Risiken erscheint eine Klassifikation in 4 Diskurskategorien hilfreich:

- Beim *kognitiven Diskurs* ringen Experten für Wissen (nicht unbedingt Wissenschaftler) um die Klärung eines Sachverhalts. Ziel eines solchen Diskurses ist eine möglichst wirklichkeitsgetreue Abbildung und Erklärung eines Phänomens (etwa die

Frage, welche gesundheitlichen Auswirkungen bei der Emission eines bestimmten Stoffs zu erwarten sind). Je vielschichtiger, disziplinenübergreifender und unsicherer dieses Phänomen ist, desto eher ist ein kommunikativer Austausch unter den Experten notwendig, um zu einer einheitlichen Beschreibung und Erklärung des Phänomens zu kommen.

- Beim *Reflexionsdiskurs* geht es um die Interpretation von Sachverhalten, um die Klärung von Wissensbeständen, Präferenzen und Werte sowie um die normative Beurteilung von Problemlagen und Verbesserungsvorschlägen. Reflexionsdiskurse eignen sich v. a. als Hilfsmittel zur Entscheidungsvorbereitung und zur antizipativen Konfliktvermeidung. Sie vermitteln einen Eindruck von Stimmungen, Wünschen und Unbehagen, ohne aber konkrete Entscheidungsoptionen im einzelnen bewerten zu wollen.
- Der *Gestaltungsdiskurs* zielt auf die Bewertung von Handlungsoptionen und/oder die Lösung konkreter Probleme ab. Verfahren der Mediation oder direkten Bürgerbeteiligung sind ebenso in diese Kategorie einzuordnen wie Konfliktschlichtungen zwischen Betreiber, Regulatoren und Anwohnern einer geplanten riskanten Anlage. Auch politische bzw. wirtschaftliche Beratungsgremien, die konkrete Politikoptionen vorschlagen oder evaluieren sollen, sind in dieser Kategorie einzuordnen.
- Der *Vermittlungsdiskurs* ist im strengen Sinn kein Diskurs, weil er durch seine klare Hierarchisierung in Vermittler und Zuhörer offenkundig vom Idealtyp des Diskurses abweicht. Da Vermittlung aber betont diskursive Züge tragen kann, erscheint es gerechtfertigt, auch diese Kategorie mit dem Diskursbegriff zu belegen. Im Vermittlungsdiskurs werden die Ergebnisse der anderen 3 Diskurse oder auch anderweitig zustandgekommene Sachverhalte, Bewertungen oder Gestaltungsvorschläge an Außenstehende weitergegeben.

8.3

Diskursive Verfahren im Überblick

Bei der sog. Mediation nimmt neben den Vertretern der von einer Entscheidung betroffenen Gruppen ein unparteiischer Schlichter (Mediator) am Runden Tisch teil (Breidenbach, 1995). Mediation heißt übersetzt Vermittlung. Die Rolle des Vermittlers oder Mediators besteht darin, den Einigungsprozeß voranzutreiben. Er soll gewissermaßen als Katalysator wirken. Mediationsverfahren sind dort sinnvoll, wo schon im Vorfeld bestimmter Vorhaben Konflikte zwischen beteiligten Akteuren auftreten, was bei

Standortfragen ebenso wie bei Planungen für den Bau von großtechnischen Anlagen oder umstrittenen Forschungseinrichtungen wie etwa gentechnischen Versuchslabors der Fall sein kann. Mit Hilfe des neutralen Mediators kann versucht werden, eine für alle Beteiligten einvernehmliche Regelung zu erreichen. In Gesprächsrunden werden wie beim Runden Tisch die Sichtweisen der Betroffenen offengelegt und unterschiedliche Lösungsmöglichkeiten entwickelt. Der Mediator sorgt dafür, daß die Parteien nicht wie Kampfhähne aufeinander losgehen und bestimmte Fairneßregeln eingehalten werden. Am Ende einer erfolgreichen Mediation stehen Empfehlungen für das Vorgehen im konkreten Problem- bzw. Entscheidungsfall. In den USA ist dieses Instrument der Konfliktvermittlung und -lösung schon weit verbreitet, auch in Deutschland werden v. a. im Bereich der Umweltpolitik solche Verfahren durchgeführt (Renn und Oppermann, 1995).

Das Verfahren des kooperativen Diskurses stellt eine Weiterentwicklung des Runden Tisches dar. In diesem Fall werden verschiedene diskursive Verfahren kombiniert. Wie in allen Mediationsverfahren stehen der Dialog der an einer Planungsmaßnahme beteiligten Individuen und Gruppen und ein Ausgleich zwischen Interessen, Werten und Weltbildern im Mittelpunkt. Das Modell der kooperativen Diskurses folgt dabei einem Aufbau in 3 Phasen oder Schritten (Renn und Webler, 1998). In den Schritten wird zwischen Werterhebung, Faktenermittlung und Abwägung unterschieden. Diese 3 Aufgaben werden vorrangig von den Akteuren vorgenommen, von denen man annehmen kann, daß sie für diese Aufgabenstellung besonders geeignet seien. Die Verknüpfung der 3 Ebenen geschieht in den folgenden Schritten:

- Alle von einem Risiko betroffenen Gruppen werden gebeten, ihre Werte und Kriterien für die Beurteilung unterschiedlicher Optionen mit riskanten Folgen (etwa Technikeinsatz, umweltpolitische Maßnahme, neue Züchtung) offenzulegen. Dies geschieht in Interviews zwischen den Diskursorganisatoren und den Repräsentanten der jeweiligen Gruppen. Als methodisches Werkzeug dient dabei die Wertbaumanalyse, ein in den USA entwickeltes interaktives Verfahren zur Bewußtmachung und Strukturierung von Werten und Attributen (Keeney et al., 1984).
- Die Wertdimensionen werden in einem zweiten Schritt durch ein Forschungsteam, das möglichst von allen Beteiligten als neutral angesehen wird, in Indikatoren überführt. Diese Indikatoren stellen Meßanweisungen dar, um die zu erwartenden Auswirkungen der jeweiligen Maßnahmen zu erfassen. Da viele der Folgen nicht physisch meßbar sind und manche auch wissenschaftlich umstritten

sein mögen, ist es nicht möglich, einen einzigen Wert für jeden Indikator anzugeben. Dies gilt v. a. für unsichere Folgen. Gleichzeitig sind die Folgen auch nicht beliebig, sondern ergeben sich als logische Folgerung aus dem jeweiligen Wissen und der Anwendung methodischer Regeln innerhalb verschiedener wissenschaftlicher Lager. Für den Diskurs ist es entscheidend, die Spannweite wissenschaftlich legitimer Abschätzungen so genau wie möglich zu bestimmen. Dazu ist im kooperativen Diskurs eine besondere Form des Experten-Workshops entwickelt worden, bei dem Gruppen von Experten gemeinsam Abschätzungen vornehmen und Diskrepanzen innerhalb der Gruppen in direkter Konfrontation ausdiskutieren (Wabler et al., 1991).

- Hat man die Wertdimensionen bestimmt und die Folgen der jeweiligen Handlungsoptionen abgeschätzt, folgt der schwierige Prozeß der Abwägung. Im Rahmen des kooperativen Diskurses wird es einigen, nach dem Zufallsverfahren ausgesuchten Bürgern überlassen, stellvertretend für alle diese Abwägung vorzunehmen (Dienel, 1978; Dienel und Renn, 1995). Die ausgesuchten Bürger haben mehrere Tage Zeit, die Profile der jeweiligen Handlungsoptionen zu studieren, Experten zu befragen, Zeugen anzuhören, Besichtigungen vorzunehmen und sich eingehend zu beraten. Am Ende stellen sie eine Handlungsempfehlung aus, die sie eingehend in einem Bürgergutachten begründen müssen. Dafür erhalten sie eine Vergütung. Solche Bürgerforen haben sich sowohl auf kommunaler als auch auf regionaler Ebene bereits bewährt und wurden erstmals für einen nationalen Konflikt zu Beginn der 80er Jahre eingesetzt (Renn et al., 1985).

Neben der Beteiligung der direkt Betroffenen an Entscheidungsverfahren existieren weitere Formen von Vereinbarungen zwischen staatlichen und gesellschaftlichen Akteuren. Es besteht z. B. die Möglichkeit, daß Unternehmen freiwillig an der Lösung bestimmter Risikoprobleme arbeiten und Kooperationen oder Selbstverpflichtungen zur Erreichung bestimmter Umwelt- und Sicherheitsziele eingehen. Angebote zur Kooperation, Branchenabkommen und freiwillige Selbstverpflichtungen stellen in der Regel Reaktionen potentiell Betroffener auf staatliche Anstöße zur Regulierung bestimmter Umweltbereiche dar. Selbstregulierungen der Wirtschaft können verhindern, daß der Staat neue Gesetze und Verordnungen erläßt, die häufig wenig Flexibilität in der Umsetzung erlauben. Aus diesem Grund gehen Unternehmen bzw. Unternehmensverbände häufig Selbstverpflichtungen ein, um drohenden gesetzlichen Auflagen entgegenzuwirken. Da aber in solchen Übereinkünften nicht alle Unternehmen einer Bran-

che eingebunden werden können, kommt es hier leicht zum Problem des „Trittbrettfahrens“. Je mehr Mitglieder einer Branche sich freiwillig an einer selbst auferlegten Verpflichtung beteiligen, desto größer ist die Chance eines Erfolgs.

Die Zusage von Unternehmen, an der Lösung eines bestimmten Problems freiwillig mitzuwirken, ist in Deutschland auch aus der Klimadebatte und der Diskussion um die Verringerung des CO₂-Ausstoßes bekannt. Die Selbstverpflichtung der deutschen Industrie aus dem Frühjahr 1996, den spezifischen Kohlendioxid-Ausstoß (CO₂ pro Produkteinheit) bis zum Jahr 2005 um 20% (bezogen auf 1990) zu verringern, war mit ausschlaggebend dafür, daß die Bundesregierung Pläne für eine Energie- bzw. CO₂-Steuer zurückstellte. Selbstverpflichtungen können auf Verträgen beruhen oder als informelle Versprechen ausgestaltet sein. Eine Überwachung findet in der Regel durch unabhängige Dritte und die Öffentlichkeit (Presse) statt.

Die Wirtschaft läßt sich v. a. dann auf freiwillige Vereinbarungen ein, wenn sie davon ausgehen kann, daß die Auswirkungen für sie weniger negativ sind als im Fall einer regulativen staatlichen Maßnahme. Aus diesem Grund birgt dieses Instrument die Gefahr, daß sich durch seinen Einsatz eine hemmende und verzögernde Wirkung in Bezug auf die erforderlichen Ziele der Risikoreduktion ergeben kann (Kurz und Volkert, 1995). Tiefgreifende Reformen und Veränderungen, die über ohnehin schon absehbare Entwicklungen hinausgehen, werden durch freiwillige Selbstverpflichtung und Kooperation aller Voraussicht nach eher nicht erreicht. Weiterhin ist problematisch, daß bei diesen Verhandlungslösungen Dritte, die gleichermaßen betroffen sind, ausgeschlossen bleiben. Diese Gefahr besteht bei jeder Art von Rundem Tisch (Hoffmann-Riem und Eifert, 1995; Bergmann et al., 1996).

Die Stärke der diskursiven Instrumente liegt aber darin, daß mit ihrer Hilfe die für die Risikobewertung notwendigen Abwägungen nach rationalen und politisch legitimierbaren Kriterien vollzogen werden können. Die Frage, welche Risiken zumutbar sind und wie mit Unsicherheiten und Ungewißheit umgegangen werden soll, geht weiter über das politisch-

administrative Handeln hinaus. Vielmehr ist bei der Frage nach dem zumutbaren Maß an Risiken ein breiter Konsens in der Bevölkerung notwendig. Erst im Bewußtwerden der eigenen Grenzen, der drohenden Gefahren und der möglichen Chancen kann ein verantwortungsvolles Verhalten entstehen. Eine solche Verantwortung läßt sich am besten in diskursiven Verfahren der kollektiven Beschlußfindung und der eigenen Selbstverpflichtung erreichen. Ein strukturierter Verhandlungsprozeß, in den das notwendige Sachwissen eingeht, Normen und Gesetze beachtet werden, soziale Interessen und Werte in fairer und repräsentativer Weise eingebunden werden und eine Integration sachlicher, emotionaler und normativer Aussagen zustandekommen kann, eröffnet neue Perspektiven für die Lösung von Interessenkonflikten, die im Umfeld risikopolitischer Entscheidungen auftreten.

Diskursive Instrumente haben ihre Grenzen: Im voraus lassen sich die Effektivität und die Effizienz nicht abschätzen. Diskursive Verfahren sind überall dort anwendbar, wo eine direkte Schädigung oder Gefährdung von Gesundheit und Umwelt nicht zu befürchten und keine Eile geboten ist, Eingriffe hingegen mit z. T. kontroversen Wertschätzungen verbunden sind. Auch wenn die am Diskurs beteiligten Personen Lösungen finden, die von allen verbindlich getragen werden können, muß sich die Politik nicht an die erarbeiteten Empfehlungen halten, sollte sie jedoch in das eigene Entscheidungskalkül integrieren.

8.4 Ein Verfahrensvorschlag zur diskursiven Bewältigung von Risiken

Wie könnten Diskurse zur Risikobewertung gestaltet werden? Tab. F 8.4-1 gibt einen Ablauf eines Entscheidungsprozesses zur Risikoregulierung wieder, wie er idealerweise unter Einbeziehung diskursiver Elemente ablaufen könnte.

Im Rahmen dieses Entscheidungsprozesses müssen folgende Aufgaben geleistet werden:

- Es muß eine normative Diskussion um Bewer-

Tabelle F 8.4-1
Ablauf eines Entscheidungsprozesses zur Risikoregulierung unter Einbeziehung diskursiver Elemente.
Quelle: WBGU

Stufen der Entscheidungsfindung	Hauptakteure
Problemwahrnehmung Ziele, Werte Kriterien	Politik, Interessengruppen, Experten Politik, Interessengruppen Politik, Experten, Fokusgruppen, Vertreter der Öffentlichkeit
Optionen Auswirkungen von Optionen Gewichtung von Kriterien Entscheidung	Experten, Gruppen, Öffentlichkeit Experten Politik, Öffentlichkeit Politik (Partizipation)

tungskriterien zur Beurteilung der Akzeptabilität von Risiken geführt werden, an der nicht nur Experten, sondern auch Vertreter von Interessengruppen und interessierte Bürger teilnehmen sollten. Diese Diskussion sollte im vorgeseztenlichen Raum stattfinden, also die Geltungskraft der Gesetze voraussetzen, diese aber durch risikospezifische Normen ergänzen. Das kodifizierte Recht besitzt unterschiedliche Auslegungsmöglichkeiten, aber die Handlungsspielräume sind auch nicht beliebig. Es ist deshalb notwendig, solche „objektiven Maßstäbe“ zu benutzen, allein schon deshalb, weil eine Gesellschaft nicht alles neu zur Verhandlung freigeben kann.

- Die augenblickliche Meinungsvielfalt der Bevölkerung und ausgewählter Gruppen muß gemessen werden, um den Grad subjektiver Werterfüllung und Wertverletzung im einzelnen nachvollziehen zu können und die Präferenzen der Bürger besser kennenzulernen. Allein diese Information ist schon wichtig, um beurteilen zu können, ob es sich überhaupt um eine echte Kontroverse handelt oder um ein Außenseiterproblem. Gleichzeitig können Wahrnehmungsstudien aufzeigen, inwieweit die Meinungen polarisiert sind und ob Konsensmöglichkeiten bestehen.
- Die zu erwartenden sozialen Folgen, die mit der Verbreitung oder der Nutzung bestimmter riskanter Optionen verbunden sind, müssen prognostiziert werden. Dabei ist v. a. auf eine Charakterisierung der verbleibenden Unsicherheiten zu achten. Im Sinn der Vorschläge des Beirats würde man in dieser Phase auch die Zuordnung zu den einzelnen Risikotypen vorsehen.
- Die Folgen müssen mit Hilfe normativer Kriterien unter Einbeziehung von Interessengruppen, Bürgern und Experten bewertet werden. Diese Bewertungen müssen aber in enger Zusammenarbeit mit den dazu legitimierten Entscheidungsträgern durchgeführt werden. Ob ein solcher Interessenausgleich gelingt, ist natürlich fraglich.

Formale Verfahren der Bewertung können bei der Beurteilung der Optionen Anhaltspunkte für eine vergleichende Bewertung bieten. Sie erlauben jedoch keine automatische Anwendung, d. h. in jedem Fall sind Abwägungen auf der Basis von Wert- und Zielvorstellungen notwendig. Deshalb ist es wichtig, daß ein Dialog zustandekommt, in dem beide Seiten Informationen austauschen und auch voneinander lernen können. Ziel einer vorsorgenden Risikopolitik ist die Erarbeitung einer Orientierungshilfe für Entscheidungsträger in Politik, Wirtschaft und gesellschaftlichen Gruppen, die sich auf das aktuelle Expertenwissen abstützen kann und gleichzeitig die Werte und Präferenzen der von Folgen betroffenen Personen zum Maßstab der Wünschbarkeit macht.

Diskursive Formen der Verständigung sind das geeignete Mittel, diese beiden Elemente systematisch und gültig miteinander zu verzahnen.

Strategien zum Umgang mit unbekannten Risiken

G

Dieses Jahresgutachten steht, wie alle vorherigen des Beirats, unter dem Obertitel „Welt im Wandel“. Darin kommt zum Ausdruck, daß zukünftigen Entwicklungen und den mit ihnen verbundenen Risiken besondere Bedeutung zukommen muß. Zudem hat der Beirat am Konzept der Nachhaltigkeit immer die Pluralität der Dimensionen betont. Neben der ökologischen sind auch die ökonomische und die soziale Nachhaltigkeit gleichmäßig zu beachten. Dies ist um so wichtiger, als ein Beirat für „globale“ Umweltveränderungen die Interessen des – weitaus größten – Teils der Menschheit vor Augen haben muß, dessen materieller Wohlstand weit unter dem der OECD-Länder liegt. Daher sind den Risiken einer „Welt im Wandel“ immer auch die Chancen des Wandels gegenüberzustellen.

Aus diesem gesamten Komplex von bekannten und unbekanntem Risiken und den ihnen gegenüberstehenden Chancen wurden im Gutachten bisher überwiegend die bekannten Risiken behandelt. Für die Einteilung von Risiken in verschiedene Risikoklassen lagen also Informationen über Schadenspotentiale vor. Gegenstand dieses Kapitels sind nunmehr unbekanntere Risiken, also Risiken, bei denen auch über die konkrete Risikoquelle keine Informationen vorliegen. Der Übergang zwischen unbekanntem und bekanntem Risiko ist teilweise fließend. Insbesondere bei den Risikotypen Pythia und Pandora ist keine weitere Konkretisierung der Eintrittswahrscheinlichkeit oder des Schadensmaßes möglich. Vielfach können aber zumindest Schadensvermutungen aufgestellt werden. Es ist zudem denkbar, daß neben diesen vermuteten Risiken auch noch bisher völlig unbekanntere Risiken existieren. Somit ergeben sich aus den folgenden Überlegungen auch Anhaltspunkte für eine Risikostrategie für die Typen Pythia und Pandora.

Die Beschäftigung mit diesem Gegenstand könnte zunächst als unnötig erscheinen: Wozu sollte man Risiken bedenken, die vielleicht noch gar nicht vorhanden sind oder über die kein Wissen verfügbar ist? Sicherlich lassen sich unbekanntere Risiken, wie sich zeigen wird, eben wegen ihrer unbekanntem Eigenschaften nicht so wie bekannte behandeln. Aber ihre

Bedeutung ist deshalb sehr groß, weil sie zumeist mit Innovationen einhergehen. Und Innovationen sind die hauptsächliche Triebkraft des wirtschaftlichen Wachstums und der Globalisierung und werden an Bedeutung eher zu- als abnehmen. Zugleich sind Innovationen an Menschen und sie beeinflussende Institutionen gebunden. Vor diesem Hintergrund kommt es darauf an, in diesem Gefüge von innovativ ausgerichteten Personen und Institutionen Prädispositionen zu schaffen, damit, wenn bis dahin unbekanntere Risiken sich abzuzeichnen beginnen, schon Mechanismen greifen, die fast automatisch solche Risiken erkennen und bewerten lassen, um die Innovation, die meist zahlreiche Richtungen nehmen kann, in eine weniger risikoreiche Richtung gehen zu lassen.

Um ein Beispiel aus dem Bereich der globalen Umweltveränderungen zu nehmen: Wenn bei der Entwicklung einer neuen Chemikalie ein neues Schadensrisiko droht, so wie seinerzeit bei der Entwicklung der FCKW das Ozonloch vielleicht hätte antizipiert werden können, so sollte der innovativ Tätige solche Wirkungen früh mitbedenken. Dieser Grundgedanke läßt sich gut beschreiben mit unterschiedlichen Definitionen des Gefährdungspotentials von Stoffen. Das deutsche Gesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (Chemikaliengesetz, ChemG) geht überwiegend von den schädlichen Eigenschaften eines Stoffs aus, es wird also das „stoffimmanente Gefährdungspotential“ ermittelt. Für die Risikopolitik ist allerdings entscheidend, wie sich diese inhärenten Eigenschaften durch Ausbreitung oder Mobilität und Exposition tatsächlich auf Mensch und Umwelt auswirken können. Der Chemiker sollte also idealerweise dieses „wirkungsspezifische Gefährdungspotential“ in seinen Forschungsentscheidungen berücksichtigen (Breuer, 1986; Rehbinder, 1997).

In ähnlicher Weise können auch mit innovativen Technologien wie der Gentechnologie und der Klonierung von Tieren Risiken verbunden sein, die nach Art und Umfang noch völlig unbekannt sind. Um diese noch unbekanntem Risiken zu reduzieren, kommt es darauf an, Instrumente zu entwickeln, die das Bewußtsein und die Aufmerksamkeit von For-

schern und Innovatoren für solche Risiken schärfen, ohne durch harte Eingriffe gleich am Anfang die mit der Neuerung einhergehenden Chancen zu zerstören. Insbesondere bei der Gentechnologie scheint ein dezentrales Aufspüren von Risiken möglich, da ein „denkbarer Risikopfad“ offenliegt und über das Schadensausmaß konkretisierbare Vorstellungen bestehen. Somit besteht ein Mindestmaß an Gerichtigkeit der Risikovermutung, was vielfach eine Voraussetzung für ein dezentrales Entdecken von Risiken ist. Risikowissen kann hier zudem auch als Kuppelprodukt gentechnischer Produktentwicklung anfallen (Gawel, 1997).

Der frühere Bundesminister für Forschung und Technologie, Dr. Heinz Riesenhuber, sprach dem WBGU auf der konstituierenden Sitzung 1992 die Aufgabe zu, „die neuen Ozonlöcher zu entdecken“. Diese Aufgabe konnte sich notwendigerweise nur auf bereits existente Risiken beziehen, die dann nur noch zu „entdecken“ waren. Das Risiko eines neuen Ozonlochs durch eine erst noch zu entwickelnde Chemikalie hingegen kann, um im Beispiel zu bleiben, vielleicht am ehesten durch den Chemiker selbst oder seine Fachkollegen „erahnt“ werden. Beispielsweise sind im breiten Feld der chemischen Substanzen offenbar Zonen höheren oder geringeren Risikos bekannt und können zu erhöhter Aufmerksamkeit führen. Das Gleiche gilt für die Entscheidung, welche Techniklinien in der Forschung aufgenommen oder zurückgestellt werden. Jedenfalls ist v. a. im unmittelbaren Umfeld des innovativ tätigen Menschen die Informationsbasis zu finden, die ein Aufspüren bisher unbekannter Risiken erhoffen läßt.

Im Vordergrund dieses Abschnitts steht zwar die Diskussion unbekannter Risiken. Jedoch sollte bei der Argumentation immer bedacht werden, daß hinter diesen risikoauslösenden Tätigkeiten und Entscheidungen die Suche nach Chancen steht. Das gilt im besonderen Maß für neue Technologien oder neue chemische Stoffe, die in ihrem Entwicklungsbeitrag z. Z. noch gar nicht abgeschätzt werden können und die notwendigerweise auch die Möglichkeit noch unbekannter Risiken in sich tragen. Ein Blick in die Geschichte zeigt, daß viele technische Innovationen wie die Eisenbahn, das Auto oder der Betrieb von Dampfkesseln zunächst als sehr risikante Technologien eingestuft wurden. Mit der Zeit wurde allerdings deutlich, daß die Risiken kleiner als vermutet waren bzw. daß es vorteilhaft war, sie angesichts der Wohlfahrtsgewinne durch die technologische Weiterentwicklung in Kauf zu nehmen.

Weil nun die Fragestellung „Umgang mit unbekanntem Risiken“ rein logisch ausschließt, daß konkrete Risiken bei den nachfolgenden Überlegungen herangezogen werden können, bewegen sich die Ausführungen teilweise auf einem eher abstrakten

Niveau. Trotz des grundsätzlichen Charakters dieses Kapitels können an vielen Stellen konkrete Empfehlungen abgegeben werden, wie eine Gesellschaft mit unbekanntem Risiken oder allgemein mit dem Phänomen der Ungewißheit umgehen soll. Eine eher passive Strategie besteht darin, die Kapazität zur Bewältigung von Risikofolgen zu steigern und die Vulnerabilität gegenüber dem Auftreten von Risiken zu vermindern (Kap. E 2). Aufgrund des allgemeinen Charakters der Frage würden sich diese Ausführungen nur unwesentlich von den entsprechenden Aussagen für eine gleichermaßen passive Strategie bei bekannten Risiken unterscheiden. Von daher konzentriert sich die Argumentation überwiegend auf eine sog. aktive Strategie, d. h. es wird danach gefragt, welche Handlungsoptionen für eine Gesellschaft und – im Fall globaler Umweltrisiken – für die Weltgemeinschaft bestehen, damit unbekannte Risiken möglichst frühzeitig entdeckt und somit rechtzeitig Maßnahmen zur Minderung des Risikos eingeleitet werden können.

Mit Blick darauf wird wie folgt argumentiert:

1. Die Gesamtheit der unbekanntem Risiken wird zunächst unterteilt in unbekanntem Umweltrisiken aus Routinetätigkeit, die im folgenden nicht weiter behandelt werden (Kap. G 4), und solchen aus Innovationsprozessen, die hier im Vordergrund stehen (Kap. G 1.2).
2. Ein kurzer Teil über die Entstehung von Risiken generell führt zu dem Problemverständnis, unbekanntem Risiken als Wissensdefizite aufzufassen, und zu den Orten in einer Gesellschaft, an denen dieses Wissen aufgespürt bzw. generiert werden kann (Kap. G 1.3).
3. Der umfangreiche zweite Teil ist dann den Möglichkeiten zum Ausgleich solcher Wissensdefizite gewidmet (Kap. G 2).
4. Die erforderliche Produktion von Wissen über unbekanntem Risiken wird oft durch kognitive, motivationale und soziale Faktoren gehemmt, die wegen ihrer Bedeutung gesondert behandelt werden (Kap. G 3).
5. Bis zu diesem Punkt wurde von Wissen ausgegangen, das zwar nicht vorhanden ist, aber geschaffen werden kann. Es gibt aber auch Wissen, das prinzipiell nicht generierbar ist, beispielsweise bei Vorliegen genuin stochastischer Prozesse. Zudem ist die Produktion von neuem Wissen keine stetige, positiv steigende Funktion der eingesetzten Ressourcenmenge, so daß auch vermehrte Forschungsbemühungen keine hinreichende Bedingung für die Entdeckung unbekannter Risiken sind (Tietzel, 1985). Für solche unvermeidbaren Wissenslücken, aber auch für noch nicht geschaffenes oder umgesetztes Wissen ist Vorsorge zu treffen, daß diese unbekanntem Risiken möglichst

- weitgehend reduziert werden (Kap. G 4).
6. Den Schluß bildet eine kurze Synthese zu diesen neuartigen Fragestellungen (Kap. G 5).

1.1

Unbekannte Umweltrisiken aus Routinetätigkeit und aus Innovationsprozessen

Bisher unbekannte Umweltrisiken können zunächst einmal aus den ständig stattfindenden Emissionen von seit langem bekannten Stoffen resultieren. Bisher und wohl auch auf absehbare Zeit kann nicht auf ein auch nur einigermaßen vollständiges Wissen über die komplexen Systemabläufe in der Natur und die Wirkung anthropogener Eingriffe in diese ökosystemaren Zusammenhänge zurückgegriffen werden. Demnach können zahlreiche unbekannte Risiken aus seit langem betriebenen *Routinetätigkeiten* resultieren. Dabei entstehen insbesondere folgende Risikoarten (Siebert, 1987b):

1. *Akkumulationsrisiken*. Liegt nur lückenhaftes Wissen darüber vor, ab welchem Schwellenwert Ökosysteme aufgrund anthropogener Stoffeinträge zusammenbrechen, besteht das Risiko des Überschreitens dieser unbekanntes Schwellenwerte.
2. *Synergismusrisiken*. Diese Risikoart umschreibt das Risiko, daß ein an sich ungefährlicher Stoff auf nicht vorhergesehene Weise mit den bereits in den Umweltmedien befindlichen Stoffen reagiert und Schädigungen hervorruft.

Diese Art von unbekanntes Risiken ist nur sehr schwierig durch Forschungsaktivitäten zu entdecken. Da die Anzahl toxischer Stoffe, die auf Mensch und Umwelt einwirken, unüberschaubar groß ist, erscheint es nahezu unmöglich, alle denkbaren Interaktionen zwischen den Stoffen auf ihr Schadenspotential hin zu untersuchen. In Theorie und Praxis wird versucht, dieses Problem durch die Suche nach Mechanismen zu lösen, die eine Beeinflussung des Risikos wahrscheinlich machen. Hieraus können allgemeine Prinzipien abgeleitet werden, die über Analogieschluß auf bisher nicht untersuchte Risikotatbestände angewendet werden können (Projektgruppe „Umweltstandards“, 1998).

Trotz dieses kurz skizzierten Ansatzes, kombinierte Expositionen von Stoffen in den Griff zu bekommen, wird das Gebiet der Kombinationseffekte in der Toxikologie überwiegend als wenig erforscht angesehen. Die Gründe hierfür sind wohl in erster Linie in der Komplexität zu vermuten (Projektgruppe „Umweltstandards“, 1998). Da ein personaler Ansatzpunkt für die Erzielung wissensproduzierender Wirkungen bei den Kumulations- und Synergismusrisiken meist nicht gegeben ist, dürfte es auch sehr

schwierig sein, das Wissen über solche Kombinationseffekte auf dezentraler Ebene zu generieren. Die Zuteilung der Risikoverantwortung gestaltet sich hier als nahezu unmöglich. Von daher ist solches Wissen vielleicht wirklich überwiegend durch staatlich finanzierte Forschungsinstitutionen zu schaffen (Kap. G 2.3).

Demzufolge stehen in diesem Teil unbekanntes Risiken infolge von *Innovationen* im Vordergrund. In diesen Fällen liegt kein Erfahrungswissen über potentielle Nebenwirkungen dieser Neuerungsprozesse aus der Vergangenheit vor (Zylicz, 1987). Unbekanntes Risiken infolge von Innovationsprozessen verdienen auch deshalb besondere Aufmerksamkeit, weil Innovationen zum einen eine Schlüsselfunktion in der Nachhaltigkeitsdiskussion zukommt und weil zum anderen Neuerungen untrennbar mit Risiken zusammenhängen.

Definitionsgemäß sind mit Neuerungsprozessen Risiken verbunden, da es unmöglich ist, alle notwendigen Informationen über die Konsequenzen innovativen Handelns so zu bündeln, daß Risiken vollständig vermieden werden. Auf der anderen Seite bergen Innovationen aber auch ein enormes Entwicklungspotential in sich. So können Neuerungen nicht nur Zielbeiträge zu allen 3 Dimensionen von Nachhaltigkeit (ökonomisch, ökologisch, sozial) leisten, sondern sie sind teilweise sogar in der Lage, alle 3 Dimensionen miteinander zu verbinden und somit die partiell vorhandenen Zielkonflikte zwischen diesen Dimensionen aufzuheben. Somit umfaßt die Diskussion über den geeigneten Umgang mit unbekanntes Risiken das gesamte Spektrum für die Beurteilung der Chancen und Risiken der technologischen Entwicklung.

An dieser Stelle interessieren insbesondere die global relevanten Innovationsrisiken (Kasten G 1.2-1). Dazu können die Kriterien des im Kap. C entwickelten Globalfilters herangezogen werden. Es ist selbstverständlich nicht möglich, *ex ante* Aussagen über den globalen Charakter unbekanntes Risiken zu machen. Solche Aussagen können nur *ex post* nach Entdeckung des Risikos getroffen werden. Somit gelten die meisten der Empfehlungen, die aus der nachfolgenden Analyse abgeleitet werden, auch für nationale Risiken. Eine konsequente Trennung zwischen national und global unbekanntes Risiken ist also nicht möglich, aber auch für die Grundbotschaft dieses Teils nicht erforderlich.

Bekanntes Beispiele für lange Zeit unbekanntes globale Risiken waren die Effekte der FCKW auf den Ozonschild der Erde und des CO₂ auf das globale Klima. Ganz anders geartete globale Risiken unbekanntes Art können darin liegen, daß lange bekannte oder aber innovative Technologien in Staaten angewendet werden, die die entsprechenden Risiken

Kasten G 1.2-1**Innovationen: Risikoerhöhende oder risikoreduzierende Wirkungen?**

Da es sich bei Innovationen um Neukombinationen von Produktionsfaktoren handelt, gehen mit Innovationen definitionsgemäß unbekannte Risiken einher, denn es liegt kein aus der Vergangenheit gewonnenes Erfahrungswissen darüber vor, welche Auswirkungen auf die Umwelt von den Neuerungsprozessen ausgehen. Aus ökonomischer und systemtheoretischer Sicht können allerdings Argumente dafür vorgebracht werden, daß Innovationen auch eine risikoreduzierende Wirkung entfalten können.

Die Systemtheorie der Evolution befaßt sich mit der Selbstorganisation und dem Ordnungsaufbau von Systemen (Baumann, 1993). Aus dieser Perspektive ergeben sich Umweltprobleme und Umweltrisiken aus dem komplexen Interaktionsschema der verschiedenen gesellschaftlichen Teilsysteme. Bei einem niedrigen Differenzierungsgrad können beispielsweise das wirtschaftliche, politische, kulturelle und ökologische System unterschieden werden. Letztlich resultieren Umweltprobleme daraus, daß es zu einer zunehmenden Überforderung der Adaptionfähigkeit des ökologischen Systems kommt und somit der Koevolutionszusammenhang zwischen dem ökologischen System und den gesellschaftlichen Teilsystemen gefährdet wird (Pasche, 1994).

Die Fähigkeit eines Systems, sich verschiedenen Systemumwelten anzupassen, entscheidet maßgeblich über die Überlebensfähigkeit eines Systems. Zum einen kann sich ein System passiv oder reaktiv an Änderungen des Umweltgeschehens anpassen, und zum anderen kann es eine aktive Fähigkeit besitzen, sich durch Ausweitung seines Möglichkeitsbereichs seine Umwelt selbst zu schaffen und zu gestalten.

Um aktiv auf Umweltveränderungen reagieren zu können, muß ein System in der Lage sein, neuartige, innovative Verhaltensweisen hervorzubringen (Röpke, 1977). Dies unterstreicht die Bedeutung von Innovationen, denn diese stellen eine kreative Antwort des Systems auf eine gesteigerte Außenkomplexität dar. So lautet das „Gesetz der erforderlichen Vielfalt“ von Ashby, daß nur durch eine Steigerung der Verhaltensflexibilität, also durch eine Steigerung der Menge an unterschiedlichen Zuständen, die ein System einnehmen kann, der gesteigerten Komplexität der Systemumwelt begegnet werden kann (Ashby, 1974). Demnach steigt die Anfälligkeit gegen Umweltveränderungen, wenn Flexibilität abgebaut wird (Holzheu, 1987). Somit wirken aus dieser Perspektive Innovationen risikoreduzierend; dies gilt insbesondere für derzeit unbekannte Risiken, denn Innovationen erhöhen den zukünftigen Handlungsspielraum einer Gesellschaft. Dies kann am Beispiel der Gentechnologie verdeutlicht werden. Die völlige Blockierung dieses hochinnovativen Entwicklungszweigs würde zwar die mit dieser Technik einhergehenden und bisher überwiegend vermuteten Risiken vermeiden. Zugleich würde aber auch auf das Problemlösungspotential dieser Technologie für zukünftige Umweltprobleme und -risiken verzichtet.

Die Frage nach der risikoreduzierenden oder risikoerhöhenden Wirkung von Innovationen kann selbstverständlich nicht abschließend geklärt werden. Sicher ist nur, daß eine Tradeoff-Beziehung zwischen der Vermeidung von Risiken aus Innovationsprozessen im Status quo und der Offenhaltung zukünftiger Handlungsoptionen existiert. Dies im Einzelfall herauszuarbeiten und der Öffentlichkeit zu vermitteln, kann helfen, die Akzeptanz neuer Lösungen zu erhöhen und beispielsweise einer diffusen Technikfeindlichkeit vorzubeugen, die sich auf die wünschenswerten Innovationen hemmend auswirkt.

weniger gut beherrschen als die Ursprungsregionen (z. B. Kernkraftwerke in Entwicklungsländern).

Durch den noch detaillierter zu behandelnden Aspekt der asymmetrischen Informationsverteilung (Kap. G 2.3) tritt noch ein weiteres global relevantes Problem hervor. Beschleunigt durch die zunehmende weltwirtschaftliche Verflechtung nimmt der Austausch von Technologien, Produkten, chemischen Stoffen usw. immer mehr zu. Somit ist es Unternehmen möglich, einen regionalen Risikotransfer vorzunehmen, indem sie beispielsweise risikoreiche Produktionstechnologien in Länder mit geringeren Haftungsansprüchen verlagern oder das Wissen über das Risikopotential bestimmter Stoffe den Anwendern vorenthalten. Möglichkeiten, solche Probleme der asymmetrischen Informationsverteilung auf internationaler Ebene anzugehen, wurden bereits in Form des prior informed consent (PIC) angesprochen (Kap. F 6.3) und werden daher hier nicht weiter ausgeführt.

1.2**Zur Entstehung von Risiken****Determinanten risikorelevanter Entscheidungen**

Risiken im hier verstandenen Sinn umschreiben den Tatbestand, daß als Konsequenz von menschlichen Handlungsentscheidungen negativ bewertete Ereignisse eintreten können (Kap. C); das Risiko von Naturkatastrophen wie etwa eines Erdbebens wird also hier nicht erörtert. Diese Definition weist auf die Bedeutung der zentralen Entscheidungsinstanz „Mensch“ hin. Direkt auf den Menschen zurückführbare, risikorelevante Handlungen sind beispielsweise wirtschaftliche Entscheidungen über die Nutzung natürlicher Ressourcen oder individuelle Konsumentscheidungen, mit denen der Nachfrager seine Präferenzen für bestimmte Produkte auf dem Markt äußert.

Solche risikorelevanten Entscheidungen werden insbesondere auch von Unternehmen getroffen. Dementsprechend stehen die unternehmerischen Entscheidungen über Entwicklung, Produktion und Vertrieb von Produkten vielfach im Mittelpunkt von

Risikodiskussionen. Gegenstand der Risikoanalyse ist in diesem Fall die in eine Unternehmensorganisation eingebundene Entscheidungsinstanz „Mensch“. Mit dieser Konzentration auf die von menschlichem Handeln abhängigen Risiken ist nun zu klären, welche rahmenbildenden Institutionen sie beeinflussen.

1. Der *Staat* ist die grundlegende Instanz, die für menschliche Handlungsentscheidungen die institutionellen Rahmenbedingungen festlegt. Die Legislative setzt den übergeordneten Rechtsrahmen, während viele Details auf dem Verordnungsweg durch die Exekutive (Bürokratie) festgelegt werden. Aufgrund dieser staatlichen Tätigkeit werden die Kosten und Nutzen – von Handlungsalternativen maßgeblich beeinflusst. Der Staat kann als eine Art Superinstanz angesehen werden, da seine rahmenbildende Kompetenz auch entscheidend die Wirkungsweise der 3 nachfolgenden institutionellen Faktoren beeinflusst.
2. Neben den gesetzlichen Rahmenbedingungen nehmen auch interne Regeln von *Unternehmensorganisationen* Einfluß auf Menschen, die in eine Unternehmensorganisation eingebunden sind und dort risikorelevante Entscheidungen treffen. Von der Vielfalt der Management- und Organisationskonzepte können unterschiedliche Anreize auf die Mitarbeiter ausgehen, um ökologische Risiken zu entdecken und diese in Abwägung zu den erforderlichen Vorsorgeaufwendungen in den Unternehmensentscheidungen zu berücksichtigen (Kap. G 2.2 und G 4).
3. Der *Markt* wird in der Ökonomie als der effizienteste Allokationsmechanismus angesehen, denn er vermag, wichtige Informationen in Preissignale zu transformieren, so daß die Produktionsfaktoren in die Verwendungen gelenkt werden, in denen Güter kosteneffizient und präferenzgerecht produziert werden. Die auf Märkten offenbarten Präferenzen sind eine zentrale Einflußgröße im unternehmerischen Entscheidungssystem. Bei der Analyse der Institution Markt zeigt sich zugleich die wichtige Rolle des Staats als normsetzende Instanz; denn inwieweit der Markt seine Allokationsfunktion wahrnehmen kann, hängt stark davon ab, daß der Staat die richtigen Rahmenbedingungen schafft. Aus risikopolitischer Perspektive können Einschränkungen in der marktlichen Allokationsfunktion gerechtfertigt werden, um bestimmte Risiken einzudämmen. Im Hinblick auf globale Risiken ist die Welthandelsordnung als institutionelle Einflußgröße von besonderem Interesse, da sie für alle am Außenhandel orientierten und international agierenden Unternehmen ein wichtiges Element bei der Entscheidung über Produktion, Vertrieb und Absatz von Gütern

darstellt. Für die risikopolitische Diskussion sind auch Versicherungsmärkte bedeutsam, die in entwickelten Industrienationen eine Institution zur marktlichen Handhabung von Risiken sind.

4. *Kultur* und *gesellschaftliche Normen* beeinflussen die menschlichen Handlungsentscheidungen in großem Maß. In vielen Völkern bestimmen kulturelle Normen den Umgang mit natürlichen Ressourcen. Infolgedessen muß analysiert werden, welche Bedeutung das Umweltbewußtsein und die in einer Gesellschaft vorhandenen Umweltpräferenzen für risikorelevante Entscheidungen haben.

Die Gesamtheit dieser Determinanten muß bei einer Strategie zur Früherkennung von Risiken berücksichtigt werden, denn aus der Kombination dieser verschiedenen Einflüsse auf menschliche Entscheidungen resultieren letztlich Risiken, und deshalb bieten sich diese Faktoren auch als Ansatzpunkt für die Entwicklung von Früherkennungsstrategien an.

Ein staatlicher Handlungsbedarf kann in den Fällen diagnostiziert werden, in denen das Risiko zumindest partiell die Eigenschaften eines öffentlichen Guts aufweist. Öffentliche bzw. kollektive Risiken liegen vor, wenn es Individuen erlaubt ist, mögliche Vorteile exklusiv für sich zu vereinnahmen und mögliche Nachteile völlig oder teilweise auf die übrigen Individuen zu verteilen. Das Problem des öffentlichen Risikos besteht demzufolge darin, daß der Risikoverursacher die potentiellen Kosten seiner Entscheidung nicht adäquat berücksichtigt (Karl, 1987).

Damit jedes Wirtschaftssubjekt dem individuellen Nutzen die privaten und, im Fall von Umweltveränderungen, auch volkswirtschaftlichen Kosten gegenüberstellt, ist die Haftung für Entscheidungen, die im Wirtschaftsleben getroffen werden, ein ordnungspolitisches Grundprinzip (Eucken, 1952). Wäre eine 100%ige Durchsetzung des Haftungsprinzips möglich, würde sich kein Risikoproblem ergeben, denn es würde sich ein den Präferenzen entsprechendes Risikoniveau einstellen. Die Ausführungen zum Haftungsrecht aus juristischer Perspektive (Kap. F 2) zeigen allerdings, daß es sich hierbei um eine Fiktion handelt. Es wird also immer Risiken geben, die aufgrund von Lücken im Haftungssystem das gesellschaftlich erwünschte Risikoniveau übersteigen.

Liegt das Wissen über potentielle Umweltschädigungen durch den Menschen vor, können bei Ausfall des Haftungsrechts Maßnahmen ergriffen werden, um ein unerwünscht hohes Risikoniveau zu reduzieren (Kap. F). In diesem Teil hingegen soll davon ausgegangen werden, daß ein spezifisches Risikowissen (noch) nicht vorhanden ist; es liegen also nur sehr diffuse oder gar keine Schadensvermutungen vor.

Das Problem: Unbekannte Risiken als Wissensdefizit

Vor dem Hintergrund dieser Diskussion über die Determinanten risikorelevanter Entscheidungen ist nun erneut nach den Besonderheiten unbekannter Risiken zu fragen. Sie können unter der Perspektive des Wissensdefizits in 2 Kategorien eingeteilt werden (Hecht, 1998; Gawel, 1997).

1. Das Wissen über ein Schadenspotential ist an keiner Stelle in der Gesellschaft vorhanden und muß dementsprechend erst produziert werden.
2. Das entsprechende Wissen ist auf dezentraler Ebene verfügbar. Es wird allerdings, beispielsweise aufgrund von Lücken im Haftungssystem, bei Entscheidungen nicht genutzt. In diesem Fall liegt eine asymmetrische Informationsverteilung vor, die verhindert, daß von politischer Seite in einem ersten Schritt ein gesellschaftlicher Diskurs über Risiken und Chancen von Handlungsalternativen eingeleitet wird und in einem zweiten Schritt Maßnahmen zur Erzielung des gewünschten Risikoniveaus ergriffen werden.

Risikowissen stellt sich gesamtwirtschaftlich als ein produktives Gut dar, weil es die Grundlage für ein rationales Risikomanagement bildet. Einzelwirtschaftlich hingegen ist Risikowissen zunächst einmal ein wertsenkendes Gut, denn infolge des generierten Wissens können staatliche Regulierungsmaßnahmen ergriffen werden, die für Unternehmen nachteilig sein können. Anhand dieser Differenzierung kann der staatliche Steuerungsauftrag wie folgt beschrieben werden: Ziel des staatlichen Risikomanagements muß es sein, „den Widerspruch zwischen privatem Nachteil und öffentlichem Vorteil von Risikoinformationen aufzuheben“ (Gawel, 1997).

Diese Problemskizzierung wird zum einen wieder aufzugreifen sein, wenn einzelne umweltpolitische Instrumente in ihrer Bedeutung für unbekanntem Risiken untersucht werden. Zum anderen lassen sich aus der bisherigen Argumentation 3 elementare Aufgaben ableiten, die ein Risikomanagement, mit dem auch unbekanntem Risiken aufgespürt werden sollen, erfüllen muß:

1. *Generierung von Risikowissen.* Dies ist für den ersten Typ unbekanntem Risiken eine vordringliche Aufgabe. Ihm sind daher die Kap. G 2 und G 3 ganz überwiegend gewidmet.
2. *Diffusion von Risikowissen.* Dies betrifft den zweiten Fall, in dem das Wissen asymmetrisch verteilt ist und somit die Wissensdiffusion angeregt werden soll.
3. *Nutzung von Risikowissen.* Ist das Risikowissen produziert, müssen auch entsprechende Anreize existieren, damit dieses Wissen in Handlungsentscheidungen einfließt.

Kennzeichnend für eine aktive Strategie zum Umgang mit unbekanntem Risiko ist das Ziel, die Defizite im Bereich des ökologischen Wissens abzubauen, also die Generierung von Risikowissen. Es muß demnach das Wissen über ökologische Systemabläufe und über die Folgen anthropogener Eingriffe in diese Systemprozesse produziert werden. Soweit dieses Wissen bereits an irgendeiner Stelle vorhanden ist, müssen institutionelle Arrangements getroffen werden, damit es an die Betroffenen und die politischen Entscheidungsträger weitergeleitet wird.

Diese Produktion bzw. Diffusion von Risikowissen ist eine notwendige Bedingung für die Einleitung des gesellschaftlichen Abwägungsprozesses zwischen den Risiken und den Chancen von Handlungsalternativen. Angesichts der Unbekanntheit dieser Risiken kann zwar auf diese nicht konkret hingewiesen werden. Es muß aber grundsätzlich überlegt werden, welche institutionellen Ansatzpunkte es gibt, um die zuvor skizzierten Aufgaben der Generierung, Diffusion und Nutzung von Risikowissen zu erfüllen.

Den Institutionen einer Gesellschaft fällt somit eine Schlüsselfunktion zu, denn ihre Existenz und Ausgestaltung entscheiden darüber, wie gesellschaftliche Unsicherheiten bewältigt und wie letztlich Chancen und Risiken in der Gesellschaft verteilt werden. Abgeleitet aus der Problemskizzierung, unbekanntes Umweltrisikowissen als Wissensdefizite zu kennzeichnen, werden hier unter dem Institutionenbegriff die Art und Weise verstanden, wie eine Gesellschaft mit unvollständigen und unvollkommenen Informationen verfährt (Bayerische Rückversicherung, 1987).

Ökologisches Wissen ist ganz überwiegend ein öffentliches Gut, das ohne institutionelle Anreize nicht auf dezentraler Ebene produziert wird. Folglich muß es entweder 1. durch staatlich finanzierte Forschungsinstitutionen geschaffen werden (Kap. G 2.3); das ist aber in vielen Fällen wenig effizient und läßt die noch unbekanntem Risiken privat ablaufender Innovationen notwendigerweise außer acht. Oder es müssen 2. Anreize gesetzt werden, dieses Wissen privat zu generieren und es bei Entscheidungen zu berücksichtigen. Dabei handelt es sich bei der

Produktion ökologischen Wissens auf privater und staatlicher Ebene nicht um 2 getrennt ablaufende Prozesse. Vielmehr benötigen die privaten Akteure das öffentlich produzierte Wissen als Basis für die eigene Wissensproduktion. Ebenso wird oft das in staatlich finanzierten Forschungsinstitutionen produzierte Grundlagenwissen erst dann praxis- und politikrelevant, wenn es zusammen mit dem privat generierten Wissen in die Risikoanalyse und -politik eingebracht wird.

Ergänzend ist auf 2 mögliche Hemmnisse hinzuweisen, die auf dem Weg vom unbekanntem Risiko bis zu seiner Vermeidung auftreten können. Zum einen ist es möglich, daß Risikowissen nicht oder nicht ausreichend intensiv gesucht wird. Das kann u. a. an fehlender oder falscher Motivation liegen, wie sich an der Existenz verschiedener „Risikofallen“ zeigen läßt (Kap. G 3). Zum anderen kann es sein, daß das Wissen über unbekanntem Risiken zwar generiert, aber nicht umgesetzt wird. Das mag strategische Gründe haben und führt dann zum Problem der asymmetrischen Informationsverteilung (Kap. G 2.3). Oder es liegt eine fehlende Motivation zur Umsetzung vor, was auf die Notwendigkeit verstärkter Risikokommunikation verweist. Auch unterstützt ein verstärktes Haftungsrecht die Umsetzung.

Im folgenden wird zunächst das vorhandene Spektrum an umweltpolitischen Instrumenten darauf untersucht, wieweit diese die Generierung von Risikowissen auf dezentraler Ebene fördern oder hemmen (Kap. G 2.1). Anschließend wird die Frage aufgeworfen, wie die Früherkennung von globalen Umweltrisiken durch öffentliche Forschung verbessert werden kann (Kap. G 2.2). Abschließend wird das Phänomen der asymmetrischen Verteilung von Risikowissen behandelt (Kap. G 2.3).

2.1 Die Anregung der Produktion ökologischen Wissens auf dezentraler Ebene

2.1.1 Umweltpolitische Instrumente und ihre wissensproduzierende Wirkung

Üblicherweise werden umweltpolitische Instrumente in der umweltökonomischen Literatur anhand der Kriterien der ökonomischen Effizienz und der ökologischen Effektivität beurteilt. Diese Kriterien können bei unbekanntem Risiken schon deshalb nicht angewendet werden, weil die notwendigen Informationen für die Anwendung dieser Kriterien fehlen. Vor diesem Hintergrund können die von Ökonomen bevorzugten umweltpolitischen Instrumente wie Steuern und Zertifikate nicht ohne weiteres überzeugen. Sie zielen letztlich auf ein definiertes und damit bestimmtes Emissionsniveau. Damit übernimmt der Staat das Risiko falsch gesetzter Ziele und verbleibt demnach als einziger in der Verantwortung für das Eintreten von Risiken (Siebert, 1988; Pahl, 1998).

Auf der anderen Seite kann allerdings argumentiert werden, daß durch diese Instrumente der umwelttechnische Fortschritt angeregt wird (Zimmermann et al., 1996; Hemmelskamp, 1997). Allerdings müssen die generierten umweltrelevanten Innovationen jeweils daraufhin geprüft werden, ob sie zugleich auch risikoreduzierend sind. Beispielsweise kann es möglich sein, daß nur der Verschmutzungspfad gewechselt wird (Wegner, 1994).

Der Nachteil dieser Instrumente im Hinblick auf unbekanntem Risiken ist darin zu sehen, daß von ihnen kaum Anreize zur Produktion ökologischen Wissens ausgehen, weil sie auf unbekanntem Risiken nicht unmittelbar ausgerichtet werden können. Zu einem ähnlichen Urteil gelangt man, wenn das Ordnungsrecht aus dieser Perspektive betrachtet wird. Auch in diesem Fall liegt die Risikoverantwortung allein beim Staat, denn von ordnungsrechtlichen Auflagen gehen keine wissensproduzierenden Wirkungen auf die dezentrale Ebene aus.

Das Haftungsrecht hingegen, insbesondere in Form der Gefährdungshaftung, ist unter dem Kriterium der Produktion ökologischen Wissens sehr positiv zu bewerten. Das Unternehmen, das haftungsrechtlichen Auflagen unterliegt, muß abwägen zwischen dem Aufwand für Maßnahmen zur Risikovor-sorge und der Höhe der Kompensationszahlungen, die es leisten muß, wenn ein Umweltschaden eintritt. Die Vorteile des Haftungsrechts bestehen in erster Linie nicht darin, daß die Risikoverursacher zur Kompensation des entstandenen Schadens herange-

zogen werden können. Vielmehr ist der besondere Vorzug dieses Instruments darin zu sehen, daß es das betriebliche Eigeninteresse weckt, risikoreduzierend tätig zu werden. Für das Unternehmen besteht ein finanzieller Anreiz, sich über die Folgen seiner Eingriffe in die Umwelt zu informieren und somit ökologisches Wissen zu generieren. Im Gegensatz zu den anderen Instrumenten greift der beschriebene Wirkungsmechanismus des Haftungsrechts auch dann, wenn es sich um unbekanntem Risiken handelt, insbesondere bei seiner Anwendung in Form der Gefährdungshaftung (Findenegg und Karl, 1998; Pahl, 1998). Es wurde auch nachgewiesen, daß mit einer Gefährdungshaftung Entwicklungsrisiken beeinflusst werden können und ein gesamtwirtschaftlich effizienter Umfang an Forschungsaktivitäten erzielt werden kann (Shavell, 1987; Panther, 1992).

Relativierend ist allerdings anzumerken, daß zu strenge haftungsrechtliche Rahmenbedingungen den Innovationsanreiz sehr stark senken können, weil das vorherige öffentliche Risiko vollständig in ein individuelles, unternehmensbezogenes Risiko umgewandelt wird. Die Haftungszurechnung in Form einer Gefährdungshaftung reduziert somit die Vorteilhaftigkeit der Monopolsituation, die durch eine erfolgreiche Innovation eingenommen werden kann. Die Bereitschaft zur Übernahme von Entwicklungsrisiken ist allerdings beispielsweise von der Höhe und Dauerhaftigkeit temporärer Monopolgewinne und von der Möglichkeit abhängig, durch Forschungsaktivitäten Entwicklungsrisiken zu reduzieren. Deshalb kann nicht pauschal von Innovationsanreizen gesprochen werden. Es müssen sowohl das wettbewerbliche Umfeld als auch die Möglichkeiten zur Beherrschung der entstehenden Risiken bei einer Analyse der Wirkung des Haftungsrechts auf Innovationsanreize berücksichtigt werden (Findenegg und Karl, 1998).

Mit Blick auf mögliche innovationshemmende Wirkungen haftungsrechtlicher Ansätze in der Risikopolitik ist weiterhin zu beachten, daß die Einführung bzw. die Verschärfung des bestehenden haftungsrechtlichen Systems eine Neuverteilung von Eigentumsrechten mittels einer politischen Entscheidung darstellen. Damit übernimmt der Staat auch die Verantwortung für eine etwaige Beeinträchtigung der innovativen Aktivitäten in einem Land, die er im allgemeinen und unter dem Blickpunkt des zunehmenden internationalen Wettbewerbs im besonderen unbedingt im Auge behalten sollte, insbesondere mit Blick auf die Arbeitsplätze. Daher wird es für die Ausgestaltung der Instrumente für unbekanntem Umweltrisiken darauf ankommen, die risikoreduzierenden Anreize des Haftungsrechts möglichst weitgehend wirken zu lassen und zugleich eine mögliche Hemmung der Innovation zu vermeiden.

Aufgrund dieser möglichen, die Innovationsfähigkeit von Unternehmen gefährdenden Wirkung des Haftungsrechts ist beispielsweise die Einführung einer Art kollektiver Gefährdungshaftung vorgeschlagen worden (Ladeur, 1995), mit der auch andere Unternehmen der Branche, zu der auch das innovative Unternehmen gehört, an den Innovationsrisiken beteiligt werden. Dies könnte auch dadurch gerechtfertigt werden, daß im Fall eines Schadenseintritts Erfahrungswissen entsteht, das von allen Unternehmen für die Weiterentwicklung der betreffenden Technologie genutzt werden kann. Kritisch muß allerdings geprüft werden, welche Anreize von einer solchen Regelung auf die Unternehmen ausgehen, ein zu hohes Risiko einzugehen, weil sie für den Schaden nicht mehr allein zur Verantwortung gezogen werden.

Trotz des letzten Einwands weist ein solcher Ansatz in die richtige Richtung. Eine uneingeschränkte Gefährdungshaftung wirkt zu sehr innovationshemmend. Dennoch sollte die Gefährdungshaftung der Ausgangspunkt für den Umgang mit unbekanntem Risiken sein. In ein solches Haftungsregime müssen allerdings noch Mechanismen eingebaut werden, die es den Unternehmen ermöglichen, daß die Haftungsauflagen gelockert werden, wenn sie den Nachweis erbringen, daß ihre Aktivitäten keine Bedrohung für Mensch und Gesundheit darstellen (Kasten G 2.1-1). Auf diese Weise wird die Produktion ökologischen Wissens mit finanziellen Anreizen gefördert. Würde man hingegen die hohen Prämienzahlungen, die die Versicherungen für solche Risiken fordern müßten (soweit diese überhaupt versicherbar sind, was im negativen Fall neue Fragen aufwirft), öffentlich subventionieren, so würde dies den Anreiz zur Vermeidung dieser Risiken schwächen. Das könnte man zwar wiederum ausschalten, indem die Subvention nicht die Prämie verbilligt, sondern beispielsweise die Markterlöse aus einer erfolgreichen Innovation prämiert. In beiden Fällen würde zwar der Einkommenseffekt für den Innovator geschwächt, doch zugleich ein neuer Subventionstatbestand geschaffen werden, der neue Begehrlichkeiten erweckt und als Einfallstor für weitere staatliche Interventionen dient.

Insgesamt ist über solche institutionellen Regelungen bisher nur wenig nachgedacht worden, so daß an dieser Stelle ein erheblicher Forschungsbedarf konstatiert werden kann. Das gilt insbesondere, wenn man berücksichtigt, daß neben der beschriebenen Wirkung auf den Innovator, wie schon angedeutet, vom Haftungsrecht noch weitere Effekte auf Märkte ausgehen. Das Haftungsrecht erhöht das finanzielle Risiko von Unternehmensentscheidungen. Versicherungen stellen in diesem Sinn eine evolutionär entstandene institutionelle Lösung dar, diese individuelle Unsicherheit gegen Zahlung einer Versicherungsprämie in Sicherheit umzuwandeln. Neben

den Aktienmärkten werden daher Versicherungsmärkte als die wichtigsten Risikoausgleichsmechanismen angesehen (Sinn, 1986).

Es soll hier nicht darauf abgestellt werden, daß Versicherungslösungen die Kompensation von Schäden infolge unbekannter Risiken erlauben. Im Gegenteil, vorhandene Wissenslücken bezüglich der Höhe des Schadens oder der Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge können in vielen Fällen den Abschluß einer Versicherung gerade verhindern (Endres und Schwarze, 1992). Allerdings kann vor dem Hintergrund einer Gefährdungshaftung, die auch bei Schäden von bisher unbekanntem Risiken greift, argumentiert werden, daß es mit Versicherungen Akteure auf dem Markt gibt, die professionell daran interessiert sind, unbekanntes Risiken zu entdecken und dieses Wissen auch an die verursachenden Unternehmen weiterzugeben, um möglicherweise lukrative Versicherungsverträge abschließen zu können. Aus der Existenz zahlreicher Versicherungsunternehmen kann sogar gefolgert werden, daß eine Gefährdungshaftung einen dezentralen, wettbewerblichen Suchprozeß nach unbekanntem Risiken anregt, dessen Effizienz staatlichen Versuchen, Risiken frühzeitig zu erkennen, zumeist überlegen ist (Freemann und Kunreuther, 1997; Pahl, 1998). In diesem Zusammenhang ist von Interesse, daß neueren Untersuchungen zufolge das deutsche Umwelthaftungsrecht durch die Inanspruchnahme von Versicherungen und die dadurch initiierte Interaktion zwischen den Haftpflichtigen und deren Versicherern eine erhebliche Präventionswirkung ausgelöst hat (Schwarze, 1998).

Natürlich muß die vorgetragene Argumentationskette differenziert beurteilt werden. Wenn beispielsweise ein Risiko entdeckt wird, das aufgrund der Höhe der Schadenssumme als nicht versicherbar eingestuft wird, greift die Argumentation des dezentralen Suchprozesses zwischen Versicherungen nicht. Die Möglichkeit, das Haftungsrecht als risikopolitisches Instrument einzusetzen, bleibt allerdings auch dann bestehen, wenn Risiken als nicht versicherbar gelten. In diesen Fällen können Haftungsobergrenzen eingeführt werden, und das Restrisiko muß entweder akzeptiert oder vom Staat übernommen werden. Die präventive Wirkung des Haftungsrechts verschwindet auch in diesen Fällen nicht völlig, wenngleich sie vielleicht nicht so stark ausgeprägt sein wird wie beim Fehlen von Haftungsobergrenzen.

Als Fazit kann festgehalten werden, daß im Vergleich zu den anderen umweltpolitischen Instrumenten (Ordnungsrecht, Abgaben, Zertifikate) das Haftungsrecht am ehesten am Wissensdefizit ansetzt, dem charakterisierenden Merkmal unbekannter Risiken. Nur mit diesem Instrument, insbesondere wenn es in Form der Gefährdungshaftung angewen-

Kasten G 2.1-1**Die Idee der Environmental bonds**

Das besondere Problem von innovativen Tätigkeiten besteht darin, daß nicht auf ein Erfahrungswissen aus der Vergangenheit bezüglich der Risiken und Chancen zurückgegriffen werden kann. Nur durch intensive Forschungsanstrengungen können Informationen generiert werden. Deshalb sollte ein Gleichgewicht zwischen innovativen Aktivitäten und der Erforschung damit einhergehender Risiken angestrebt werden, d. h. die Zeit und Intensität, mit der diese Aktivitäten betrieben werden, sollte wohl austariert sein (Zylicz, 1987). Zur Erreichung dieses Ziels können sog. Environmental bonds eingesetzt werden.

Ursprünglich kommt die Idee der Environmental bonds aus der Stoff- und Abfallpolitik (Mill, 1972, Solow, 1971). Mit der Zahlung einer Gebühr sollen die sozialen Kosten abgegolten werden, die im schlimmsten Fall entstehen, also bei einer Entsorgung von Stoffen auf die umweltschädlichste Weise. Entspricht ein Unternehmen die Stoffe umweltfreundlich, erhält es die Gebühr zu einem Teil zurück. Können die Stoffe sogar vollständig wiederverwertet werden, dann wird die gesamte Gebühr erstattet. Auf diese Weise wird ein Anreiz gegeben, Abfallstoffe möglichst wiederzuverwerten. Zugleich werden auch finanzielle Ressourcen aufgebaut, um eventuelle Umweltschäden durch entsprechende Maßnahmen zu kompensieren.

Dieser Grundgedanke kann auch auf den Umgang mit unbekanntem Risiken übertragen werden. Hierzu ist vorgeschlagen worden, daß jeder, der durch seine Aktivitäten Eingriffe in die Natur vornimmt, eine Art Pfand (environmental bond) zu hinterlegen hat, mit dem der größte anzunehmende Umweltschaden kompensiert werden kann (Perrings, 1987, 1989). Tritt dieser Schaden nicht ein, wird das Pfand wieder erstattet. Somit kann das System der Environmental bonds als eine Art soziale Versicherung gegen Umweltrisiken angesehen werden. Zudem können in dieses System Anreize zur Wissensgenerierung eingebaut werden. Produzieren die Unternehmen durch verstärkte Forschungsanstrengungen das Wissen, daß der größte anzunehmende Umweltschaden nicht bzw. nicht im ursprünglich vermuteten Umfang eintreten kann, erhalten sie einen Teil bzw. u. U. sogar den gesamten Pfandbetrag zurück. Somit bestehen also finanzielle Anreize zur Produktion von Risikowissen.

Dieses Wissen muß zudem einer Behörde zur Prüfung offengelegt werden. Demnach wird also auch der Prozeß der Wissensdiffusion beschleunigt (Pahl, 1998).

In der Literatur sind zahlreiche Kritikpunkte an dieser Konzeption hervorgebracht worden. Zunächst einmal ist das Problem der Fixierung des Pfandbetrags zu nennen. Neben den üblichen Problemen der Monetarisierung von Umweltschäden tritt bei unbekanntem Umweltrisiken das Problem auf, überhaupt einen Ansatzpunkt für die Monetarisierung zu finden, da keine Informationen über das potentielle Schadensausmaß vorliegen. Von daher kann nur auf Mutmaßungen zurückgegriffen werden. Zudem müssen die Unternehmen als zusätzliche Absicherung einer Gefährdungshaftung unterliegen, falls der Schaden den ursprünglich festgesetzten Pfandbetrag übersteigt. Damit geht allerdings die Versicherungswirkung, die ein Environmental bond zunächst einmal für ein innovativ tätiges Unternehmen hat, verloren (Torsello und Vercelli, 1994). Als weiteres Problem werden Finanzierungsschwierigkeiten angeführt, in die ein Unternehmen geraten kann, wenn es einen sehr hohen Pfandbetrag vor Aufnahme der Innovationsaktivitäten hinterlegen muß. Insbesondere bei potentiell global relevanten Umweltschäden ist unmittelbar einsichtig, daß der Schaden leicht das gesamte Betriebsvermögen übersteigen kann. So könnten Innovationen behindert werden, die ex post aus volkswirtschaftlicher Sicht sehr nützlich gewesen wären (Shogren et al., 1993). Die optimistische Einschätzung, daß sich in Reaktion auf solche Probleme Versicherungs- und Bankenmärkte bilden (Costanza und Perrings, 1990), die Unternehmen bei der Finanzierung der Bonds helfen, kann insbesondere mit Blick auf globale Umweltprobleme nicht uneingeschränkt geteilt werden.

Trotz der Kritik handelt es sich bei der Idee der Environmental bonds um ein interessantes Instrument, das sich zudem insbesondere zum Umgang mit unbekanntem Risiken eignet. In der Praxis wird es nur sehr wenig eingesetzt. Beispielsweise müssen Bergbauunternehmen in Pennsylvania und West Virginia sog. „surface mining bonds“ erwerben, um sicherzustellen, daß die im Übertageabbau von natürlichen Ressourcen entstehenden Umweltschäden durch Rekultivierung wieder ausgeglichen werden (Shogren et al., 1993). Damit die Tauglichkeit dieses risikopolitischen Instruments näher untersucht werden kann, sollten weitere Pilotprojekte ins Leben gerufen werden, um die entstehenden Probleme in der Praxis bewerten und eventuell lösen zu können (Torsello und Vercelli, 1994).

det wird, gehen Anreize zur Produktion ökologischen Wissens auf dezentraler Ebene einher. Diese positive Beurteilung muß allerdings in der Hinsicht eingeschränkt werden, als bei einer Übermaßregulierung, die nicht nur an erkennbaren Gefahren anknüpft, alle gesellschaftlichen Freiräume der Innovation unter staatlichen Vorbehalt geraten können (van den Daele, 1993).

Von daher sind Mechanismen in das gesetzliche Regelwerk einzubauen, die bei Nachweis der weitgehenden Ungefährlichkeit der unternehmerischen Tätigkeit dafür sorgen, daß die strengen Regulierungsvorschriften gelockert werden. Dies entspricht im übrigen auch den Vorstellungen des Rats für Forschung, Technologie und Innovation (Technologie-Rat) bezüglich des rechtlichen Umgangs mit der Gen-

technologie. Angesichts der unzweifelhaft bestehenden Ungewißheit über mögliche Umweltrisiken, die aus der Anwendung der Gentechnologie resultieren können, sind zunächst mit Blick auf das Vorsorgeprinzip strenge Vorschriften erforderlich. Der Technologierat empfiehlt aber in Hinblick auf die Vermeidung von Innovationshemmnissen bei dieser chancenreichen Zukunftstechnologie, daß das rechtliche Regelwerk bei zunehmendem Wissen angepaßt, also entweder gelockert oder ggf. auch verschärft werden muß (Der Rat für Forschung, Technologie und Innovation, 1997). Auch der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (SRU) hält in vielen Fällen eine Deregulierung der gesetzlichen Regelung zur Freisetzung und zum Inverkehrbringen von gentechnisch veränderten Pflanzen für möglich, wenn es durch Be-

gleitforschung und ein langfristiges Umweltmonitoring gelingt, entsprechendes Risikowissen zu generieren, wobei es einer eingehenderen Untersuchung bedarf, ob dieser Prozeß der Wissensgenerierung eher – wie in diesem Kapitel angedeutet – auf dezentraler Ebene oder durch öffentliche Forschungs- und Prüfinstitutionen (Kap. G 2.3) erfolgen soll. Auf jeden Fall ist die Anregung der Produktion von Wissen eine notwendige Bedingung für die Aufstellung eines dem Wissensstand adäquaten Regulationssystems. Die hierzu erforderlichen gesetzlichen Grundlagen sind allerdings überwiegend noch zu schaffen (SRU, 1998).

2.1.2

Der Bedarf an unternehmensbezogenen umweltpolitischen Instrumenten für den Umgang mit unbekanntem Risiken

In Kap. G 1.1 wurde darauf hingewiesen, daß Individuen in Organisationen arbeiten und dort unter Beachtung der internen Organisationsregeln risikorelevante Entscheidungen treffen. Vor diesem Hintergrund sind die in der Praxis dominierenden umweltpolitischen Instrumente zu kritisieren, denn sowohl im Rahmen des Ordnungsrechts als auch der ökonomischen Anreizinstrumente (Abgaben, Zertifikate) findet das Unternehmen als eigenständiges Entscheidungssystem nur eine ungenügende Berücksichtigung. Für eine Risikostrategie, die auf ein frühzeitiges Erkennen von noch unbekanntem Risiken ausgerichtet ist, sind daher Regularien und Instrumente erforderlich, „die den Prozeß der Entscheidungsfindung in den Unternehmen nicht zugunsten einer Sichtweise als black box, die Schadstoffe ausstößt, ausklammern“ (Führ, 1994).

Solche Ansätze entsprechen auch dem Gedanken, daß der Prozeß der fortschreitenden Wissensexplosion selbst kaum mehr kontrolliert und gezielt beeinflusst werden kann. Aus diesem Grund müssen in diesen Prozeß Mechanismen eingebaut werden, die dazu führen, daß risikoreiche Entwicklungspfade frühzeitig abgebrochen werden. Hierzu ist es allerdings unbedingt erforderlich, die internen Entscheidungsstrukturen der Risikoverursacher mit in die Analyse und dann auch in die entsprechenden risikopolitischen Maßnahmen einzubeziehen.

Als Beispiel mag hier der Vorschlag eines „Energy Tower“ (Zaslavsky, 1997) dienen. In meeresnahen Wüstengegenden soll in Türmen bis zu 1.200 m Höhe und 40 m Durchmesser die heiße Umgebungsluft durch die Verdunstung von Meerwasser stark abgekühlt werden. Der entstehende „Abwind“ (down-draft air) soll Turbinen und Generatoren zur Elektrizitätserzeugung antreiben. Wenn ein solcher Turm

tatsächlich etwa 4 Mrd. kWh pro Jahr zu einem Preis von ca. 3 Cent kWh⁻¹ bei 5% Zinssatz (oder ca. 5 Cent bei 8% Zinssatz) liefern sollte, wäre eine preiswerte und von den Einsatzstoffen (Luft und Meerwasser) nachhaltige Energiequelle gefunden. Aber sind die Risiken beherrschbar? Zu ihnen gehören die technischen Risiken eines solchen gigantischen Bauwerks, aber auch der mögliche Effekt auf das regionale Klima oder das Risiko bakterieller Infektionen durch den zirkulierenden und sich abkühlenden Wasserdampf. Hier könnte, weil die öffentlich geförderte Forschung ihren Beitrag geleistet hat, die Haftung eines bauenden bzw. betreibenden Unternehmens dazu dienen, diese Risiken genauer zu erforschen.

Das System Wirtschaft funktioniert auf der Basis von Knappheit, Kosten-Nutzen-Abwägungen und monetärer Logik. Risiken oder allgemein Umweltprobleme müssen erst in die Systemsprache übersetzt werden, damit sie vom System und damit auch von den Unternehmen als Teilelemente des Wirtschaftssystems aufgenommen und adäquat in Entscheidungen umgesetzt werden können (Schneider, 1996). Diese „Übersetzungsleistung“ ist in vielen Ländern durch die umweltbezogene Gesetzgebung zumindest in einigen Teilbereichen vollzogen worden. Umweltprobleme und -risiken können für Unternehmen neben dieser direkten staatlichen Aktivität aber auch durch das Umweltbewußtsein und die in der Gesellschaft vorhandenen Umweltpräferenzen erfahrbar gemacht werden. Somit dient ein öffentlich akzeptierter Standard an Umweltbelastung als Orientierungsgröße und Ausgangspunkt für ein betriebliches Risikomanagement (Wagner und Janzen, 1994; Wagner, 1991). Betriebliche Umweltmanagementsysteme beinhalten denn auch üblicherweise den Gedanken eines präventiven Umweltschutzes. Demzufolge sind betriebliche Umweltmanagementsysteme nicht nur auf die Bewältigung aktueller und somit bekannter, sondern ebenso auf die Identifizierung unbekannter Schwachstellen und Risiken ausgerichtet (Wagner und Janzen, 1994).

Nicht zuletzt aus diesem Zusammenhang entwickelte sich die Idee, Öko-Audits als umweltpolitisches Instrument einzusetzen. Grundgedanke ist es, die Leistung des Umwelt- und Risikomanagements von Unternehmen zu bewerten und zu zertifizieren, damit die Gesellschaft über den Stellenwert des Umweltschutzes im jeweiligen Betrieb informiert ist. Somit wird die Grundlage für eine Sanktionierung des Umweltverhaltens von Unternehmen durch Konsumententscheidungen oder durch den Abschluß von Geschäftsbeziehungen sowohl im positiven als auch im negativen Sinn geschaffen.

Auf EU-Ebene ist das Instrument Öko-Audit 1993 eingeführt worden. Aus ökonomischer Sicht wurden zahlreiche Kritikpunkte gegen das EU-Öko-

Audit hervorgebracht, so daß die Bedeutung des EU-Öko-Audit als umweltpolitisches Instrument als eher gering einzustufen ist. Die Kritik bezieht sich allerdings nicht unbedingt auf den Instrumententyp als solchen, sondern auf die konkrete Ausgestaltung (Kasten G 2.1-2).

Trotz der Kritik, die beispielsweise an der EU-Öko-Audit-Verordnung geübt wird (Kasten G 2.1-2), zeigt der Grundgedanke dieses Instruments zumindest die Richtung an, die bei einem auf unbekanntem Risiken gerichteten Risikomanagement einzuschlagen ist, nämlich die Weckung des betrieblichen Eigeninteresses am Umweltschutz und somit die Schaffung von Anreizen, selbstständig nach Risiken zu suchen und diese zu vermeiden. Es wird sogar der interessante Vorschlag unterbreitet, die Strenge der umweltrechtlichen Regulierung, beispielsweise im Haftungsrecht, davon abhängig zu machen, welchen Standard Unternehmen bei ihrem prozeduralen internen Umweltmanagement einhalten, denn bei einem hohen Standard ist ein gewisses Vertrauen der Gesellschaft in ihre innovativen Tätigkeiten gerechtfertigt (Ladeur, 1995).

Eine weitere Maßnahme, die im Unternehmen günstige Rahmenbedingungen für die Generierung von Wissen über unbekanntem Risiken schaffen kann, bildet die Aufstellung von berufs- oder standesspezifischen Verhaltenskodizes. Sie können die Aufmerksamkeit des einzelnen „Innovators“ im Unternehmen für unbekanntem Umweltrisiken schärfen. Um ein solches Risikobewußtsein zusätzlich zu fördern, wäre der Einsatz von unternehmensinternen „Belohnungen“ und „Sanktionen“ vorteilhaft. So ist für deutsche Chemiker durch ihren Berufsverband ein Verhaltenskodex, v. a. auch für Umweltaspekte, entwickelt worden, dessen Nichtbeachtung sogar zum Ausschluß aus dem Verband führen kann (GDCh, ohne Jahr).

Als Richtlinien oder Hilfsmittel bei der Auswahl risikoärmerer Strategien können Informationssysteme dienen, die für bekannte Risiken Risikoklassen bilden. Voraussetzung ist, wie eingangs zu Kap. G 1.1 angedeutet, daß die noch unbekanntem Risiken eine vermutliche Nähe zu Klassen bekannter Risiken aufweisen. Für toxische Stoffe sind beispielsweise verschiedene Klassen aufgestellt worden, nach denen Stoffe gemäß ihres Gefährdungspotentials eingestuft werden können (z. B. Schweizer Giftklassen, Wassergefährdungsklassen oder verschiedene Ansätze zur Klassifizierung kanzerogener Stoffe) (Kaiser et al., 1998). Weisen neuentwickelte Stoffe aufgrund ihrer Entstehungs- und Entdeckungsgeschichte eine Nähe zu bekannten Stoffen auf, so erhält ein Forscher erste Informationen über das Gefährdungspotential des neuen Stoffes, an dessen Entdeckung er gerade arbeitet, wobei im Gegensatz zum deutschen Chemika-

liengesetz (ChemG) hier Stoffe als neu bezeichnet werden, die bisher noch nicht dem Anmeldeverfahren unterzogen worden sind. Somit können auf der Suche nach neuen Stoffen besonders risikoträchtige Stoffklassen entweder von vornherein ausgespart oder mit verstärkter Risikoprüfung angegangen werden, falls ihnen besonders vielversprechende Chancen gegenüberstehen.

Die Gesamtheit der hier diskutierten Ansätze, Wissen über unbekanntem Risiken auf der dezentralen Ebene zu generieren, darf aber nicht darüber hinwegsehen lassen, daß diese Strategie allein nicht ausreicht. Sie muß zum einen durch öffentlich betriebene bzw. geförderte Forschung v. a. dort ergänzt werden, wo die zu erwartenden Ergebnisse weitgehend den Charakter eines öffentlichen Gutes haben (Kap. G 1). Zum anderen kann die öffentliche Hand bei Risiken gefordert sein, die sich als nicht (ausreichend) versicherbar erweisen, beispielsweise wegen ihres Langfristcharakters (also bei Risikotypen mit einer hohen Persistenz wie Zyklon oder Pythia). Dann können zum Abdecken der auftretenden Schäden Fondslösungen ins Auge gefaßt werden (Kap. F 3), und es muß zudem offen diskutiert werden, wieweit Restrisiken von Individuen oder durch den Staat als Preis für die Innovation getragen werden sollen.

2.2

Produktion ökologischen Wissens durch Forschung: Früherkennung von Risiken durch den Syndromansatz

Im Vergleich zum technischen Wissen besitzt das ökologische Wissen in aller Regel die Besonderheit, daß es sich auf ein öffentliches Gut, eben auf die Umwelt, bezieht. Dieses Wissen kann nicht wie die Entwicklung einer neuen Produktionstechnik auf dem Markt verwertet werden. Vielmehr handelt es sich um die Produktion von anwendungsfernem Grundlagenwissen, das zwar in erster Linie aus wissenschaftlichem Interesse produziert wird, jedoch im Bereich der Umweltpolitik an Bedeutung gewinnt, denn es dient als wissenschaftliche Grundlage für die Umweltpolitik. Da das ökologische Wissen den Charakter eines öffentlichen Gutes aufweist, wird in der Produktion von ökologischem Wissen zumeist eine staatliche Aufgabe gesehen.

Zuvor ist aber dargelegt worden, daß speziell bei unbekanntem Risiken das umweltrelevante Wissen auf dezentraler Ebene vielfach effizienter als auf zentraler Ebene produziert werden kann (Kap. G 2.1). Zusätzlich zu der daraus abgeleiteten Empfehlung, die dezentrale Ebene stärker in die Risikopolitik einzubinden, bleibt es aber zugleich eine unverzichtbare Aufgabe des Staates, eine geeignete For-

Kasten G 2.1-2

Darstellung und Kritik der EU-Öko-Audit-Verordnung

Umweltschutz-Audits stellen allgemein eine systematische Bestandsaufnahme des betrieblichen Umweltschutzes dar, die meist mit einer externen Prüfung und der Vergabe eines Zertifikats über die Einhaltung eines bestimmten Standards im betrieblichen Umweltmanagement abgeschlossen wird. Gegenstand solcher Audits sind u. a. die Einhaltung umweltrechtlicher Bestimmungen, die Erfüllung unternehmenspolitischer Vorgaben und die Feststellung der Funktionsfähigkeit des betrieblichen Umweltmanagementsystems (Sieler und Sekul, 1995; Wagner und Janzen, 1994).

Basierend auf ersten Erfahrungen in den USA und bei einigen europäischen Unternehmen, die freiwillig Umweltaudits eingeführt hatten, wurde 1993 von der EU die Verordnung Nr. 1836/93 über die freiwillige Beteiligung gewerblicher Unternehmen an einem Gemeinschaftssystem für das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung (im folgenden kurz EU-Öko-Audit-Verordnung genannt) beschlossen. Ziel der Verordnung ist die Förderung der kontinuierlichen Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes im Rahmen von gewerblichen Tätigkeiten durch (Art 1 Abs. 2):

- Festlegung und Umsetzung standortbezogener Umweltpolitik, -programme und -managementsysteme durch die Unternehmen;
- systematische, objektive und regelmäßige Bewertung der Leistung dieser Instrumente;
- Bereitstellung von Informationen über den betrieblichen Umweltschutz für die Öffentlichkeit.

Die Verfahrensschritte, die für die Teilnahme am Öko-Audit erforderlich sind, lassen sich in 4 Phasen unterteilen (Hemmelkamp und Neuser, 1994):

- Phase 1: Zunächst muß die betriebliche Umweltpolitik festgelegt werden. Diese beinhaltet die umweltbezogenen Gesamtziele und Handlungsgrundsätze eines Unternehmens, welche im Einklang mit den Zielen der Verordnung stehen sollten.
- Phase 2: Mit Hilfe eines umfassenden Kriterienkatalogs werden die Umwelteinwirkungen des Unternehmensstandorts ermittelt. Ausgehend von dieser internen Umweltprüfung wird anschließend ein Umweltprogramm ausgearbeitet, das einen Maßnahmenkatalog zum betrieblichen Umweltschutz und u. U. einen Fristenplan umfassen soll. Außerdem ist ein leistungsfähiges Umweltmanagementsystem einzuführen.
- Phase 3: Nach Abschluß der Planungsperiode wird eine interne Umweltbetriebsprüfung durchgeführt. Diese Umweltbetriebsprüfung ist die Basis für die Erstellung einer Umwelterklärung, in der die Tätigkeiten des Unternehmens und das Umweltmanagement am betreffenden Standort beschrieben werden. Außerdem sind auch Daten über Schadstoffemissionen und der Rohstoffverbrauch zu dokumentieren.
- Phase 4: Die Umwelterklärung ist abschließend von einem zugelassenen und unabhängigen externen Gutachter hinsichtlich der Anforderungen der Verordnung zu

überprüfen. Nach einer positiven Validierung der Umwelterklärung kann diese bei den zuständigen Behörden eingereicht werden, um den Standort in das nationale Standortverzeichnis aufzunehmen. Diese Aufnahme berechtigt das Unternehmen, ein EU-Umwelt-Logo zu führen, welches für Werbezwecke mit Ausnahme der Produktwerbung eingesetzt werden kann.

Vom Ansatz her zielt das Öko-Audit auf die Förderung einer umweltschonenden wirtschaftlichen Entwicklung und die Verbesserung des Informationsstands der Öffentlichkeit bezüglich umweltrelevanter Unternehmenstätigkeiten ab. Mit dem Anreiz, sich über das Umweltlogo Imagevorteile verschaffen zu können, soll das freiwillige Engagement der Unternehmen für den betrieblichen Umweltschutz und die Informationsbereitschaft mobilisiert werden (Karl, 1992). Für den Umgang mit unbekanntem Risiken kann das Öko-Audit als ein umweltpolitisches Instrument angesehen werden, mit dem frühzeitig Wissen über umweltbezogene Risiken und Chancen generiert werden kann (Steger, 1995).

Aus ökonomischer Sicht wird der Normierungsaspekt des Öko-Audit als negativ bewertet, da dieser den statischen Charakter des Verfahrens unterstreicht (Maier-Rigaud, 1993). Es finden sich zwar im Anhang der EU-Verordnung einige Stichwortlisten, mit denen „gute Managementpraktiken“ umschrieben werden sollen. Der vage Charakter dieser organisatorischen und institutionellen Vorgaben zeigt jedoch deutlich auf, daß effiziente betriebliche Umweltmanagementsysteme nicht von staatlicher Seite vorgeschrieben werden können; vielmehr sollten diese von den Unternehmen im Rahmen eines wettbewerblichen Suchprozesses erst entdeckt werden (Klemmer, 1990). Ein solcher zentraler Suchprozeß wird durch freiwillige Standardisierung und erst recht durch staatliche Standards in seiner effizienzsteigernden Wirkung eingeschränkt. Im Ergebnis besteht die Gefahr, daß solche zentralistischen Ansätze zu einem Entwicklungsstillstand im Umweltschutz führen (Karl, 1993). Außerdem ist zu kritisieren, daß bei der Überprüfung komplexer Tatbestände, wie der Umweltfreundlichkeit von Unternehmen primär auf formale Kriterien (etwa Einhaltung rechtlicher Rahmenbedingungen) abgestellt wird und somit keineswegs die Umweltkonformität betrieblicher Aktivitäten bewertet werden kann (Klemmer und Meuser, 1995).

Dieser in der ökonomischen Literatur überwiegend negativ geäußerten Kritik an der EU-Verordnung sind die bisherigen Erfahrungen mit der Umsetzung der Verordnung durch das deutsche Umwelt-Audit-Gesetz von 1996 gegenüberzustellen. Hierbei hat sich gezeigt, daß in vielen Fällen durchaus eine Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes eingetreten ist (Hermanns, 1998). Viele Fragen, die insbesondere in der anstehenden Novellierung geklärt werden sollen, sind aber noch offen. Diese Fragen betreffen beispielsweise die Entscheidung zwischen einer Prüfung der Unternehmensorganisation oder des Standorts, die Vergabe eines oder mehrerer Umweltlogos, differenziert nach Dienstleistungs- und Produktionsunternehmen oder Bemühungen zur Verminderung des bürokratischen Aufwands bei der Teilnahme am Audit-System (SRU, 1998). Aus diesem Grund bleibt für eine fundierte Beurteilung des Öko-Audits als umweltpolitisches Instrument abzuwarten, wie sich die weitere gesetzliche Entwicklung darstellt und welche Erfahrungen zukünftig in der Praxis gesammelt werden.

schungslandschaft zu schaffen, denn das in staatlichen bzw. öffentlich finanzierten Umweltforschungsinstitutionen geschaffene Wissen ist in den meisten Fällen die Grundlage für Forschungsaktivitäten auf dezentraler Ebene.

Eine besondere Bedeutung erlangt die öffentlich betriebene oder finanzierte Produktion von Risikowissen dadurch, daß neue Risiken vielfach den Charakter von sog. „Erfahrungsrisiken“ aufweisen, d. h. das Risikopotential zeigt sich vielfach erst mit der Zeit. In diesem Fall besteht das Kernproblem in der Bündelung des verstreut vorhandenen Risikowissens (Gawel, 1997). Diese Aufgabe der Zusammenführung des dezentral vorhandenen Risikowissens dürfte überwiegend nicht durch Marktmechanismen möglich sein und ist wohl eher staatlichen Institutionen zu übertragen.

Bereits in einem früheren Gutachten (WBGU, 1996b) hat der Beirat die deutsche Forschung zum Globalen Wandel untersucht und dabei festgestellt, daß die vorherrschende sektorale und disziplinäre Aufgliederung der Problemstellung unangemessen bzw. ergänzungsbedürftig ist. Da die Phänomene des Globalen Wandels und damit auch die hier im Vordergrund stehenden globalen Umweltrisiken das Resultat vielschichtiger Interaktionen zwischen Natur- und Anthroposphäre sind, können diese nicht allein sektoral oder aus der Perspektive nur einer Disziplin analysiert werden. Vielmehr ist die Betrachtung komplexer Wechselwirkungen zwischen Prozessen in der Natursphäre und der Anthroposphäre erforderlich. Um diese Zielsetzung zu erreichen, hat der Beirat anhand des Syndromansatzes neue Leitlinien für die Forschung zum Globalen Wandel abgeleitet.

In Kap. E 4.2 wurde bereits auf die grundlegende Bedeutung und den positiven Lösungsbeitrag des Syndromansatzes für die Analyse globaler Umweltrisiken eingegangen. Der Beirat ist überzeugt, daß die Umsetzung des Syndromansatzes im Bereich der Forschung zum Globalen Wandel zugleich einen bedeutenden Beitrag zu einer besseren Früherkennung von z. Z. noch unbekanntem Risiken leisten kann. Natürlich kann auch dieser forschungspolitische Ansatz nicht garantieren, daß alle unbekanntem Risiken entdeckt werden, denn aufgrund des ubiquitären Phänomens der Ungewißheit ist dies unmöglich. Dennoch kann durch die Anwendung des Syndromansatzes die Wahrscheinlichkeit einer Frühentdeckung von Risiken erhöht werden, denn für die Erfüllung dieser Aufgabe ist systemisches Denken unbedingt erforderlich. Zur Veranschaulichung der Vorteilhaftigkeit des Syndromansatzes für eine forschungspolitische Früherkennung von Risiken können folgende Argumente angeführt werden:

Interdisziplinarität bzw.

Transdisziplinarität der Forschung

Die Spezialisierung ist eine notwendige, aber mit Sicherheit keine hinreichende Bedingung für eine erfolgreiche Früherkennung von Risiken. Aufgrund der komplexen Ursachen-Wirkungs-Zusammenhänge, die letztlich ein globales Risiko determinieren, steht nicht die Isolierung von Phänomenen, sondern die Konstruktion dieser Zusammenhänge im Vordergrund (Weber, 1988). Eine Betrachtung aus einer einzigen wissenschaftlichen Perspektive reicht nicht aus.

Dies zeigt beispielsweise die Diskussion über den geeigneten Umgang mit der Gentechnologie. Biologen können die Risiken von Freisetzungsversuchen erforschen und die Informationsgrundlage für politische Entscheidungen bezüglich des Umgangs mit dieser Technik schaffen. Letztendlich lassen sich Empfehlungen zum Umgang mit der Gentechnologie aber nur dann gewinnen, wenn die Risiken der Anwendungen der Gentechnik nicht als reine Technologierisiken behandelt, sondern als Risiken der Gesellschaft verstanden werden. Nicht die isolierte Untersuchung dieser Technologie bringt einen Erkenntnisfortschritt, sondern nur eine Analyse der gesellschaftlichen Rahmenbedingungen sowie der Trends, in die die Entwicklung und Anwendung der Gentechnologie eingebettet sind. Um dies leisten zu können, ist sowohl natur- als auch sozialwissenschaftliches Spezialwissen erforderlich, welches in der Syndromanalyse miteinander kombiniert angewandt wird. Diese Kombination von natur- und sozialwissenschaftlichen Erkenntnissen gewinnt insbesondere vor dem Hintergrund an Bedeutung, daß das Wissen über Umweltrisiken kein neutrales und objektives Wissen sein kann und immer durch die Kultur- und Normenstruktur einer Gesellschaft geprägt wird (Irwin, 1997).

Der inter- bzw. transdisziplinär ausgerichtete Syndromansatz schafft die Voraussetzung dafür, daß die Komplexität der Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge erkannt wird und somit aufgezeigt werden kann, aus welchen Trends Risikopotentiale entstehen können.

Modellierung von Syndromen

Die Darstellung von Syndromen in dem globalen Beziehungsgeflecht ermöglicht zum einen die Veranschaulichung der komplexen Ursache-Wirkungs-Beziehungen globaler Umweltprobleme und -risiken. Zum anderen ist diese Darstellung auch der Ansatzpunkt für eine Modellierung von Syndromabläufen. Eine solche sog. qualitative Modellierung ist u. U. in der Lage, zukünftige Entwicklungen abzubilden und somit die Diagnose- und Prognosefähigkeit von potentiellen Umweltrisiken zu erhöhen. Der derzeitige Forschungsstand auf diesem Gebiet ist allerdings

noch nicht ausreichend, um dieses Früherkennungspotential des Syndromansatzes umfassend in der Praxis verwerten zu können. Im Hinblick auf die Entdeckung unbekannter Risiken spricht der Beirat die Empfehlung aus, dieses Forschungsdefizit möglichst bald abzubauen.

2.3

Asymmetrisch verteiltes Risikowissen als Problem einer rationalen Risikopolitik

Die bisherigen Überlegungen konzentrieren sich auf die Generierung von Wissen über unbekanntes Risiko. Nun war zuvor argumentiert worden (Kap. G 1), daß solches Wissen zwar oft besteht und die Risiken insoweit nicht generell unbekannt sind, daß es aber oft den Betroffenen und dem sie vertretenden Staat nicht zur Verfügung gestellt wird. Bei asymmetrisch verteiltem Risikowissen handelt es sich keineswegs um ein seltenes Spezialproblem. Vielmehr scheint es sich bei dieser Verteilung von Wissen um ein ubiquitäres Phänomen zu handeln, das in vielen risikopolitischen Bereichen berücksichtigt werden muß. Von daher ist es von grundlegender ordnungs- und risikopolitischer Bedeutung, Institutionen zur Verbreitung von Risikowissen zu schaffen. Besondere Bedeutung erfährt dieses Phänomen für Risiken auf innovativen Gebieten, auf denen viele Risiken noch wirklich unbekannt sind und von daher schon erarbeitete Wissens-elemente um so wichtiger sind. Sie könnten, wenn sie allgemein bekannt wären, an anderer Stelle zur Aufdeckung noch unbekannter Risiken führen, weil Risikophänomene oft in einem sachlichen Zusammenhang stehen, wie die Bildung von Gefahrenklassen für Chemikaliengruppen zeigt.

Unabhängig davon, ob es sich um globale oder nationale Risiken handelt, können grundsätzlich 2 Orte unterschieden werden, wo Risikowissen dezentral vorhanden sein kann:

1. Risikowissen, das bei wissenschaftlichen Forschungsinstitutionen vorhanden ist,
2. Risikowissen, das bei dezentralen Entscheidungsträgern, insbesondere bei Unternehmen, vorhanden ist.

Der erste Fall sollte nicht das entscheidende Problem sein, denn Forschungsinstitutionen werden meist öffentlich finanziert, damit sie u. a. Risikowissen für politische Entscheidungen bereitstellen können. Zwar sind auch in der Forschung Verbesserungen hinsichtlich der Wissensdiffusion möglich. Im folgenden wird jedoch insbesondere auf den zweiten Fall eingegangen. Dieser stellt deswegen ein bedeutendes Problem dar, weil in den meisten Fällen auf Seiten der Unternehmen kein Anreiz besteht, Risikowissen preiszugeben. Wenn Wissen auf der dezentralen Ebene vor-

handen ist, dann bei den Unternehmen, die Eingriffe in die Umwelt vornehmen und die die Risikorelevanz ihrer Tätigkeit durch interne Tests und Prüfungen festgestellt haben. Solche Unternehmen werden diese Informationen bei rationaler Verhaltensweise zurückhalten, denn sie müssen im Fall der Weitergabe des Wissens befürchten, daß die politischen Entscheidungsträger auf das neue Wissen reagieren und eventuell härtere Regulierungsmaßnahmen gegen das Unternehmen beschließen. Zusätzliche Regulierung bedeutet zumeist, daß Unternehmen finanzielle Einbußen erleiden. Somit besteht insgesamt ein starker Anreiz, die Risikoinformation geheimzuhalten.

Bei einem strengen haftungsrechtlichen Regime wird das Unternehmen sein Wissen aus Eigeninteresse für entsprechende Vorsorgemaßnahmen nutzen. Wie bereits mehrfach erwähnt, fehlen jedoch häufig wichtige Anwendungsvoraussetzungen für das Haftungsrecht. Ist es trotzdem Ziel der Risikopolitik, dezentral vorhandenes Wissen verstärkt zu nutzen, müssen finanzielle Anreize zur Wissensweitergabe gesetzt werden. Beispielsweise ist es denkbar, daß Unternehmen, die Risikowissen verbreiten, eine Art Risikoentdeckungsprämie in Form einer Subventionszahlung erhalten, die sie zudem für die durch die nachfolgende Regulierung entstehenden Verluste entschädigen würde. Sinnvoll wäre ein solches Abkaufen der Informationsrente von Unternehmen nur bei risikorelevanten Aktivitäten, die von einer Vielzahl von Unternehmen ausgeübt werden. Wäre nur das betreffende Unternehmen der Risikoproduzent, so würde beispielsweise in der Stoffpolitik der unsinnige Anreiz bestehen, neue gefährliche Stoffe zu finden und für die Weitergabe des Wissens über die Toxizität dieses Stoffes eine Prämie zu erhalten. Ob es gelingt, eine Regelung zu finden, die zwischen diesen beiden Fällen einer unternehmens- bzw. branchenspezifischen Aktivität differenziert, muß angesichts des Forschungsstands und der fehlenden Erfahrung in der Praxis z. Z. allerdings skeptisch beurteilt werden.

Als weitere Strategie kann eine verstärkte Risikokommunikation angeführt werden (z. B. gesellschaftliche Diskurse, Mediationsverfahren), durch die alle gesellschaftlichen Gruppen an der Risikodiskussion beteiligt werden sollen (Kap. F 8). Für Unternehmen ist es von entscheidender Bedeutung, daß sie bei einer solchen Kommunikationsstrategie die Gelegenheit erhalten, offen die Risiken darzulegen, aber zugleich auch auf die Chancen hinzuweisen. Für die unternehmerische Innovationsfähigkeit, und damit auch für das gesamte gesellschaftliche Potential für eine nachhaltige Entwicklung, ist es von entscheidender Bedeutung, daß ihnen trotz des nur teilweise über Risiken verfügbaren Wissens ein Handlungsspielraum zugestanden wird, der es ihnen erlaubt, in-

novative Tätigkeiten durchzuführen und nach und nach den Nachweis für die Ungefährlichkeit bzw. Handhabbarkeit der Risiken von Neuerungsaktivitäten zu erbringen. Von einem solchen Klima könnten noch am ehesten Anreize ausgehen, Risikoinformationen weiterzugeben. Neuere Studien weisen zudem darauf hin, daß durch einen konstruktiven Dialog zwischen den betroffenen Parteien erhebliche Freiräume für Innovationen in bestehenden Gesetzen genutzt werden können, ohne den Schutz von Mensch und Umwelt zu gefährden (Staudt et al., 1997). Ein derartiges Vorgehen würde jedenfalls der These entsprechen, daß das Risikomanagement bei Existenz unvollständigen Wissens nur durch eine experimentelle, auf Selbstrevision angelegte, kooperativ-interaktive Form erfolgen kann (de Geus, 1992; Ladeur, 1995).

Zu prüfen ist, inwieweit das Instrument der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) hierfür Ansatzpunkte bietet. So sieht das deutsche Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung beispielsweise explizit die Einbeziehung der Öffentlichkeit vor. Zudem wird mit dem sog. Scoping-Verfahren der Untersuchungsrahmen auf die als am relevantesten eingestuften Umweltauswirkungen beschränkt, so daß bereits in der Konzeption anerkannt wird, daß nicht alle Risikofaktoren untersucht werden können, womit ein erheblicher negativer Anreiz auf Innovationsaktivitäten einhergehen würde (Eberhardt, 1992; Ladeur, 1994).

Bisher wurde diskutiert, wie auf nationaler Ebene die Wissensdiffusion angeregt werden kann. Ein völlig anderer Problemkreis erschließt sich, wenn die globale Ebene ebenfalls in die Analyse mit einbezogen werden muß. Hier treten die nationalen Regierungen als Akteure der globalen Umweltpolitik auf, und es müßte im Einzelfall geprüft werden, welche Interessen vorliegen. Solche politökonomischen Überlegungen spielen aber bei allen globalen Umweltproblemen eine Rolle. Da sie für das Kernproblem, den Umgang mit unbekanntem Risiken, nicht unmittelbar relevant sind, stehen sie hier nicht weiter im Vordergrund. Vielmehr wird davon ausgegangen, daß die Regierungen Risiken auch auf globaler Ebene auf die politische Agenda bringen, wenn sie das entsprechende Wissen erhalten haben.

Die Wissensdiffusion auf globaler Ebene kann durch ein interdisziplinäres Netzwerk von Wissenschaftlern begünstigt werden. Welche Bedeutung ein solches weltweites Netz an Forschung haben kann, wurde bei der Entdeckung des Ozonlochs deutlich. Eine wichtige Bedingung für seine Entdeckung war die Existenz eines Monitoringprogramms. Da es einen weltweit vorhandenen Vorrat an Wissen über atmosphärenchemische und meteorologische Prozesse gab, gelang eine rasche Interpretation der Ursachen-

Wirkungs-Zusammenhänge. Diese Zusammenführung des Wissens erleichterte zudem die Erklärung für die Zunahme bösartiger Formen von Hautkrebs und die Ausarbeitung von Schutzmaßnahmen (ProClim, 1997).

Mit der Entwicklung und dem Einsatz von Technologien und Stoffen (Kernkraft, Chemieprodukte, Gentechnik) oder der Einführung neuer Verhaltensmuster (weltweite Mobilität und Vernetzung, neue Ernährungsweisen, riskante Sportarten wie Bungeespringen) wird nach neuen technischen Möglichkeiten oder neuen Lebensformen gesucht, von denen man sich ökonomischen Gewinn, Wege aus Mangel-situationen oder auch neue Erlebnisse, Genuß und neue Formen der Lebensgestaltung oder -bewältigung verspricht. Es werden neue Chancen gesucht und Nutzen erwartet. Dabei werden Risiken eingegangen. Diese sind entweder bereits bekannte oder aber neuartige, zu denen noch keinerlei Erkenntnisse vorliegen und die daher dem Risikotyp Pythia zugerechnet werden müssen. Für derartige Problemlagen gilt es, v. a. Kenntnisse, aber auch weitere Formen von Risikobewußtsein, wie Einstellungen, Kommunikationsstrukturen und -prozesse zu fördern. Neben notwendigen Anreizen zur Produktion und Verbreitung relevanten Wissens zur Vermeidung von bzw. zum Umgang mit Risiken, die durch den Staat, den Markt, die Unternehmensorganisation, aber auch durch verschiedene gesellschaftliche Bedingungen gesetzt werden (Kap. G 2), müssen noch weitere Prozesse berücksichtigt werden. Gerade diese sind aber bei der Wissensproduktion und -nutzung hinderlich. Es können „Risikofallen“ entstehen, in die Individuen und Gesellschaften hineingeraten und dabei häufig unbeabsichtigt risikoreiche Situationen herstellen. Diese Risikoformen werden in den Sozialwissenschaften deswegen als Fallen bezeichnet, weil sie etwas von der Hauptcharakteristik aller Fallen haben: Erstens enthalten sie in der Regel eine Verlockung (Köder), d. h. einen vermeintlichen Vorteil, sich hinein zu begeben; zweitens sind sie so beschaffen, daß schon ein geringfügiger Kontakt mit ihnen sie zuzuschnappen und zur ausweglosen Situation werden läßt. Sie zu vermeiden setzt ihre Kenntnis und einen extrem behutsamen Umgang voraus. Derartige Fallen erzeugen unsere Denkgewohnheiten (kognitive Risikofallen), Motivationslagen (motivationale Risikofallen) und soziale Konstellationen (soziale Risikofallen).

3.1 Kognitive Risikofallen

Die Entwicklung oder Nutzung von Technologien werden gern als Handeln in komplexen, vernetzten, dynamischen und teilweise intransparenten Situationen beschrieben. Fehler können dabei katastrophale Wirkungen haben. Beispiele wie Bophal, „Exxon Valdez“ oder Tschernobyl legen davon ein beredtes Zeugnis ab. Viele dieser und anderer technischer Desaster wurden, bevor sie geschahen, für fast unmöglich gehalten. Auch im Nachhinein wird daran festgehalten, daß solche Unglücksfälle eigentlich nicht geschehen und sich aus den in einer speziellen Situation vorhandenen mangelhaften Sicherungssystemen und Bedienungsfehlern erklären lassen, keinesfalls jedoch generelles Merkmal komplexer Situationen seien. Es gibt aber eine Reihe von Hinweisen, daß diese Fehler prinzipieller Natur sind und nicht ausschließlich durch ein Mehr an Wissensgeneration und Bedienungssicherheit kompensiert werden können.

Über die spezifische Risikoforschung hinaus können die Untersuchungen zum Umgang mit komplexen Systemen (Dörner, 1989), zu Bedingungen menschlichen Versagens (Reason, 1994) sowie zur Arbeitssicherheit und zum Gesundheitsschutz (Weninger und Hoyos, 1996) wertvolle Beiträge liefern. Ihre Anwendung auf die vom WBGU zu behandelnden globalen Umweltprobleme und insbesondere auf noch „unbekannte Ozonlöcher“ steht noch aus.

3.1.1 Patzer und Schnitzer

Betrachtet man Fehler als Ergebnis kognitiver Tätigkeit, ist eine Unterscheidung zwischen unabsichtlichen Patzern und Fehlern als Folge bestimmter Denkstrategien und Verhaltensweisen sinnvoll (Reason, 1994). Für sog. Patzer und Schnitzer können vergleichsweise einfache vorsorgende Maßnahmen entwickelt werden.

Als Patzer und Schnitzer werden Fehler bezeichnet, die oberflächlich und oft leicht zu bemerken sind. Sie finden während der Ausführung einer meist routinierten Handlungsfolge statt. Beispiele für Patzer sind Versprecher, sich verschreiben, allgemein vertun. Schnitzer sind zum größten Teil Gedächtnisfehler, die nicht unbedingt sichtbar sind und oft nur der Person auffallen, die sie begeht (z. B. etwas vergessen). Diese Fehlerarten können durchaus für Katastrophen relevant sein: Wenn etwa vergessen wird, eine Sicherheitsvorrichtung im Umgang mit hochtoxischen Stoffen zu aktivieren (in Genlaboren) oder bestimmte Ventile zu schließen (in Kernkraftanlagen). Sie werden dann global als menschliches Versagen bezeichnet. Die häufigste Ursache für diese Fehler sind Aufmerksamkeitsstörungen, die durch Unterbrechung einer Tätigkeit, durch Ablenkung oder durch Überlastung verursacht werden können (Reason, 1994).

Auch bei der Entwicklung neuer Technologien oder Stoffe wird teilweise auf bekannte Verfahren zurückgegriffen, für die bereits Erfahrungswerte über die häufigsten oder gravierendsten Ausführungsfehler vorliegen. Zur Vermeidung dieser Fehler sind Standardüberprüfungen, z. B. mit Hilfe von Checklisten, die eine effiziente Selbstüberwachung ermöglichen, oder durch regelmäßige Sicherheitschecks durch Dritte, sinnvolle Strategien. Die Schaffung der notwendigen Rahmenbedingungen sollte nicht zugunsten anderer Prioritäten vernachlässigt werden.

3.1.2 Fehler

Neben Routinehandlungen zeichnet sich gerade der Umgang mit komplexen Systemen durch geplantes und überlegtes Vorgehen aus. Im Gegensatz zu Patzern und Schnitzern, die „aus Versehen“ stattfinden, sind Fehler das Resultat von bewußten aktiven Denkprozessen, die aber auf falschen Annahmen, falschen Schlußfolgerungen, falschen Verknüpfungen oder Ähnlichem beruhen. Fehler, die durch einen falschen Plan bzw. inadäquate Überlegungen entstehen, sind sehr viel schwerer zu entdecken und zu vermeiden als Patzer oder Schnitzer. Besonders in komplexen und dynamischen Systemen erfolgt nicht unmittelbar eine direkte Rückmeldung auf Fehler. Sogenannte latente Fehler können oft lange völlig unbemerkt bleiben und erst durch dramatische Entwicklungen auffallen, die dann aber u. U. nicht mehr zu stoppen sind. Durch die Vernetztheit der verschiedenen Komponenten können völlig unerwartete Folge- und Nebenwirkungen eintreten. Häufig ist nicht bekannt, welche Komponenten sich nach welchen

Regeln verändern. Die Möglichkeiten, die Funktionsweise des Systems vollständig kennenzulernen, sind in der Regel nicht gegeben. Eine Reihe von kognitiven Faktoren macht es dem Menschen besonders schwer, mit komplexen Systemen umzugehen (Dörner, 1993).

Monokausales lineares Denken

Da wir es gewohnt sind, nicht zuletzt auch durch einen in dieser Hinsicht einseitigen Unterricht, monokausal zu denken, d. h. für eine Wirkung eine Ursache anzusetzen, geraten wir auch hier leicht in eine kognitive Falle: Die Suche nach einer Ursache blendet die Möglichkeit mehrerer Ursachen für ein Ereignis ab, und die eine, die wir suchen, muß, wenn es sie überhaupt gibt, nicht die entscheidende sein. Die oft frustrierende Suche nach einer bestimmten Ursache verschließt außerdem die Einsicht in ein Gefüge von potentiellen Neben- und Folgewirkungen.

Reduzierte Suche und Überprüfung von Hypothesen

Im Streben nach Sicherheit wird oft eine einmal aufgestellte Hypothese nur ungern wieder verworfen. Dies geschieht häufig aus „ökonomischen“ Gründen, da Aufwand und Energie investiert wurden, die nicht umsonst gewesen sein sollen. Um eine präferierte Hypothese zu stützen, setzt man sich vorzugsweise solchen Informationen aus, die diese Hypothese bestätigen, während widersprechende Informationen eher übersehen oder gering geschätzt werden. Vor allen Dingen in Situationen, in denen die Lösung eines Problems unter Zeitdruck erfolgt, kommt die zu einer kreativen Lösung erforderliche Flexibilität zu kurz.

Abkapselung eines Problembereichs

Eng mit der Tendenz zur Konzentration auf eine Einzelhypothese ist die Gefahr der Abkapselung eines Problembereichs verbunden, die um so größer ist, je mehr in einem neuartigen und komplexen System – und als solches muß ein noch unbekanntes, potentiell globales Umweltproblem prinzipiell angesehen werden – immer wieder neue Teilprobleme auftauchen. Zur Reduzierung der damit verbundenen Unsicherheit wird dann nur ein präferiertes Problem weiterbearbeitet, das zwar weiterhin Anforderungen stellt, aber auch Erfolgserlebnisse ermöglicht. „Nebenbereiche“, die sich durchaus einmal als „Hauptbereiche“ herausstellen könnten, werden nicht gesehen.

Übergeneralisierung von Regeln

In eine weitere kognitive Falle kann man geraten, wenn beim Verdacht oder deutlichen Hinweisen auf Fehler versucht wird, zunächst Analogien zu bisher aufgetretenen Problemen zu finden. Bereits bekannt-

te Problemlösestrategien werden bevorzugt und wenn eben möglich angewandt. Die Herstellung dieser Analogien kann schon *per se* fehlerhaft sein, da sich zeigt, daß die Suche und auch die Wahrnehmung von Fehlerhinweisen, die andere Regeln notwendig machen würden, sehr eingeschränkt sind. Einmal bekannte, aber für neue Fälle nicht passende Regeln, werden verallgemeinert.

Unverwundbarkeitsillusion

Die Entwicklung und Anwendung potentiell risikobehafteter Technologien und Verhaltensweisen gehen in der Regel, wenn auch nicht immer gleichzeitig („erst muß ein Unfall passiert sein“) mit der Entwicklung von Sicherheitsvorkehrungen einher. Solche Sicherheitsmaßnahmen werden häufig für absolut zuverlässig und in jedem Fall ausreichend eingeschätzt. Auch dabei wird übersehen, daß die komplexen Sicherungssysteme häufig fehleranfällig sind, bzw. aufgrund unerwarteter Ereignisse ihr Ziel gar nicht erreichen können (z. B. aufwendigste Schutzmechanismen in Labors, die durch „einen kleinen Zufall“ ausgehebelt werden können).

Zu den hier nur beispielhaft aufgeführten kognitiven Fallen, die sich in der Forschung zum Umgang mit komplexen Problemlösesituationen herauskristallisiert haben, kommen weitere bereits im Kap. E 1.2 beschriebene Strategien, etwa die sog. kognitiven Heuristiken, hinzu, die als Bias bei der Wahrnehmung und Beurteilung von Problemen wirksam sind. Angesichts der Schwierigkeiten, die sich im Umgang mit komplexen Systemen ergeben, kann nicht erwartet werden, daß Fehler oder unvorhergesehene Ereignisse auch durch die bestmögliche Wissensakkumulation gänzlich vermieden werden können (Reason, 1994). Allerdings hilft oft bereits die Information über die Existenz und Wirkung solcher „kognitiven Ökonomien“ und über die Existenz von lockenden, aber auch prekären Fallen, um bewußt gegensteuern zu können. Über die Aufklärung einzelner Personen hinaus muß die Kommunikation zwischen verschiedenen Beteiligten verbindlich gemacht werden. Des weiteren sollten Prüfungsvorgänge, an denen verschiedene interne und externe Akteure (z. B. innerbetriebliche Kontrolle, externe Prüfung durch TÜV) transparent gemacht werden, damit Abweichungen von festgelegten Sicherheitsplänen schnell erkannt werden können.

Das Ziel muß es sein, die Konsequenzen, die aus Fehlern erwachsen können, so gering wie möglich zu halten. Wenn dies unmöglich erscheint, muß auch in Erwägung gezogen werden, ein Forschungsprojekt oder eine Technologie nicht weiter zu verfolgen.

3.2

Motivationale Risikofallen

Wissensproduktion oder -nutzung ist nicht immer ausschließlich ein rationaler Prozeß. Neben der Erreichung eines konkreten Ziels spielen auch eher individuelle Ziele, wie schnell „fertig“ zu werden, erfolgreich zu sein oder berühmt zu werden, eine Rolle. Solche Handlungsziele können dann gefährlich werden, wenn sie emotional so besetzt werden, daß ein Innehalten kaum mehr möglich ist.

Soziale Dilemmas

Individuen, aber auch Gruppen sind nicht selten in einer Situation, in der eine Entscheidung zwischen einem unmittelbar greifbaren Gewinn, Nutzen oder Erfolg und einem weniger sicheren, aber dafür größeren späteren Nutzen zu treffen ist. Häufig wird zugunsten des ersteren entschieden; denn unmittelbare Bedürfnisbefriedigung hat die größere Verlockung als die bloße Aussicht auf späteren, wenn auch größeren Nutzen. Der augenblickliche Gewinn oder Genuß wird auch dann vorgezogen, wenn mit späteren Kosten zu rechnen ist („genieße jetzt, zahle später“).

Aus diesem individuellen Dilemma wird ein soziales, wenn die Orientierung am (kurzfristigen) eigenen Vorteil unter Außerachtlassung oder Inkaufnahme von (langfristigen) Kosten für die soziale Gemeinschaft oder die Umwelt erfolgt. Dies ist das zentrale Merkmal von Commons-dilemma-Problemen, die als sozialökologische Dilemmas oder auch als „soziale Fallen“ spezifiziert werden können (Platt, 1973). Im Vordergrund steht die Verfolgung egoistischer Interessen und kurzfristiger Gewinne (z. B. Nutzung einer Ressource) für ein Individuum, eine Gruppe oder auch eine Nation, die auf Kosten der langfristigen, berechtigten Interessen der sozialen Gemeinschaft verwirklicht wird. Dabei kann die räumliche, zeitliche und soziale Nähe zwischen Nutznießern und Geschädigten variieren: so werden v. a. erst nachfolgende Generationen unter den Schäden, die durch Belastung von Boden, Wasser und Luft entstehen, zu leiden haben.

Eine Form individueller Gewinnmaximierung ist auch die empirisch bestätigte Tatsache, daß Erfolge individualisiert, d. h. den eigenen Fähigkeiten und Anstrengungen zugeschrieben, Mißerfolge oder Schäden und die damit verbundenen Kosten aber vorzugsweise sozialisiert, d. h. der Gemeinschaft aufgebürdet werden. Eng damit zusammen hängt die Tendenz, den Erfolg intern zu attribuieren, Kosten aber zu externalisieren. Den Ruhm möchte man selbst ernten, für eventuelle Fehlschläge aber andere verantwortlich und haftbar machen.

Die bereits als kognitive Falle beschriebene Illusion der Unverwundbarkeit läßt sich auch als motivationales Problem identifizieren. Wie Befunde aus der Gesundheitsforschung belegen, geben sich Personen, die sich riskanten Situationen oder Lebensweisen aussetzen (Motorradfahren, Rauchen) oder mit dem Eintreten einer bestimmten Krankheit rechnen, gern einem „unrealistischen Optimismus“ hin, wenn es um die Erwartung von Schäden geht („mir wird schon nichts passieren, aber andere könnten durchaus zu Schaden kommen“). Diese egozentrische Sichtweise dient einer Person dazu, ihr Selbstwertgefühl aufrechtzuerhalten und gegen Verletzungen zu schützen und damit den Glauben in die eigene Kompetenz und Handlungsfähigkeit in schwierigen Situationen zu bewahren. Dabei kommt es nicht selten zur Überschätzung der eigenen Fähigkeiten und Kontrollmöglichkeiten (self-serving bias), die gerade im Umgang mit noch undurchschaubaren Situationen des Pythia-Typs zur Falle werden kann.

Bei der Beschäftigung mit noch unbekanntem Risiken sind immer auch Konflikte zwischen verschiedenen Werthaltungen vorprogrammiert, die durchaus auch ihren emotionalen Ausdruck finden. Als jüngst in der Schweiz der Volksentscheid zur Weiterverfolgung der Gentechnik anstand, wurde diese Entscheidung durch 2 Emotionen getrübt, nämlich Zukunftsangst auf der einen und Fortschrittsgläubigkeit, zu der auch die Angst gehört, den wissenschaftlichen und technischen Anschluß zu verlieren, auf der anderen Seite.

Lustbetonte Herausforderungen

Schwierige Situationen werden durchaus nicht immer nur als Streß erlebt, den man zu beenden sucht. Die Tendenz zur Vermeidung einer Situation konkurriert mit der Lust am Neuen, Aufregenden, Ungewissen, wie es Untersuchungen zum Konflikt zwischen Annäherungs- und Vermeidungstendenzen oder zur Sensationslust (Zuckerman, 1979; Schneider und Rheinberg, 1996) immer wieder bestätigt haben. Aufgaben, die sehr anspruchsvoll sind, aber dennoch immer wieder Erfolgserlebnisse ermöglichen, üben einen besonderen Reiz aus und werden als Herausforderung erlebt („Forscherehrgeiz“). Die Verfolgung einer Forschungsidee um jeden Preis mit ihrem Wechsel von Spannungserzeugung und -lösung, Versagensangst und Triumph über Erfolge, kann ebenso wie beispielsweise die Lust an der Geschwindigkeit und riskanter Fahrweise im Straßenverkehr mit flow-Erlebnissen verbunden sein, bei denen der Gedanke an Gefahren, Unfälle und Schadensmöglichkeiten weit in den Hintergrund gedrängt wird.

3.3

Soziale Risikofallen

Forschungs- und Entwicklungsarbeit, die neue Gefahren mit sich bringen können, finden meist nicht im Elfenbeinturm eines einsamen Wissenschaftlers statt, sondern in einem Forschungsteam, in einem Unternehmen, also in einem sozialen Kontext. So sind das Erkennen und Bewerten möglicher Gefahren, die Bereitschaft zur Aufnahme und Weitergabe von Risikowissen, aber auch das Verhalten in riskanten Situationen nicht nur eine Frage individueller Kompetenzen und motivationaler Tendenzen. Sie unterliegen auch dem Einfluß von Gruppenprozessen, die nicht nur, aber auch zu sozialen Fallen werden können, da sie mit einem Anstieg risikoreicher Entscheidungen verbunden sind, die katastrophale Folgen haben können.

Gut belegt sind die Phänomene des Gruppendenkens und des risikoreichen Wechsels (risky shift), die aufgrund von sozialen Vergleichs- und Einflußprozessen in Gruppen auftreten und im Ergebnis zu weniger guten oder risikoreicheren, sicherheitswidrigen Entscheidungen führen, als eine Einzelperson sie getroffen hätte. Solche Phänomene sind immer wieder beschrieben worden (z. B. Invasion in die Schweinebucht 1961; Kubakrise 1962; Challenger Unglück 1985). Die Analysen der Katastrophe von Tschernobyl (Dörner, 1989; Reason, 1994) haben gezeigt, daß die beteiligten Beschäftigten bereit waren, ein kontinuierlich wachsendes Risiko beim Umgang mit der Anlage einzugehen, die letztlich katastrophale Auswirkungen hatte.

Diese Entwicklung kann als Folge von Gruppendenken (Janis, 1972) erklärt werden, das dann entsteht, wenn bei Diskussionen in kohäsiven Gruppen (d. h. mit einander gut bekannten Gruppenmitgliedern) Konsens oder Einstimmigkeit angestrebt wird. Dabei zeigt sich dann, daß

- Ziele nicht mehr ausreichend diskutiert werden,
- Bedenken einzelner Mitglieder ignoriert oder wegrationalisiert oder durch Konformitätsdruck an die Mehrheitsmeinung angepaßt werden,
- nur noch wenige Handlungsalternativen in Betracht gezogen werden,
- frühere (akzeptierte oder auch verworfene) Lösungsvorschläge nicht wieder aufgegriffen werden,
- Ratschläge von außen entweder gar nicht gesucht oder nur selektiv verarbeitet werden,
- eine Illusion der Unverwundbarkeit („wir sind stark“) entsteht.

In der Regel kommt es in diesen Situationen, die durch Zeitdruck oder andere Streßfaktoren noch verschlimmert werden, zu einem Risikoschub. Aller-

dings sind auch „Vorsichtsschübe“ beobachtet worden. Beide Schübe können als Gruppenpolarisierungsprozesse erklärt werden, bei denen es zu einer Verstärkung der jeweils anfänglich vorherrschenden Tendenz (zum Risiko oder zur Vorsicht) kommt. Um den Effekten von Gruppendenken und Risikoschub zu begegnen, sind Techniken entwickelt worden, die darauf abzielen, Probleme und Ziele genau zu identifizieren, die Vorschläge einzelner Mitglieder schriftlich zu fixieren und Einzelbewertungen zuzulassen.

spezifisch entworfen werden, so daß eine möglichst große Nähe zum realen Betätigungsfeld hergestellt werden kann. Allerdings ist es gerade das Wesen von unvorhergesehenen Ereignissen, daß jedes anders und in der Kombination der verantwortlichen Ursachen einzigartig ist. So bleibt die Anforderung, im Ernstfall flexibel und anders als in simulierten Situationen erprobt zu reagieren, nach wie vor bestehen.

3.4

Schlußfolgerungen

- Bereits vorhandene Standardprüfverfahren zur Vermeidung von Fehlverhalten bei Routineaufgaben müssen den nötigen Stellenwert erhalten, ihr Einsatz muß kontrolliert werden.
- Personen, die in risikoträchtigen Bereichen arbeiten, sollten im Umgang mit komplexen Systemen geschult werden. Auch wenn damit nicht notwendigerweise die oben beschriebenen Fallen vermieden werden können, findet eine Sensibilisierung bezüglich ihrer Wirkungen statt.
- Um die Aufmerksamkeit für mögliche Folge- oder Nebenwirkungen zu erhöhen, sollte eine Supervision in einem geschulten Team zur Regel gemacht werden. In sog. reflecting sessions werden Fehlerhypothesen aufgestellt und geprüft. Voraussetzung für die Diskussion möglicher Fehler ist ein fehlerfreundliches Klima in der entsprechenden Organisation. Personen, die auf Abweichungen hinweisen, eigene Fehler zugeben oder Sicherheitsprobleme thematisieren, dürfen nicht als Versager gebrandmarkt oder gar bestraft werden. Patzer und Fehler müssen als normaler Bestandteil von Tätigkeiten aufgefaßt werden, denen große Aufmerksamkeit zukommen muß. So können Fehler auch als wichtige Lerngrundlage für die Weiterentwicklung von Vorgehensweisen und Kontrollverfahren genutzt werden.
- In „Sicherheitszirkeln“ sollte die Beteiligung aller Mitarbeiter gewährleistet sein, um risiko- bzw. sicherheitsspezifische Erfahrungen und Wissensbestände zu nutzen, gegenseitig zur Suche nach Problemen und Problemlösungen anzuregen und schließlich eine größere Akzeptanz von Lösungsvorschlägen sicherzustellen.
- In Schulungen sollte nicht nur ein Bewußtsein für kognitive, sondern auch für motivationale und soziale Risikofallen geschaffen werden.
- Rechnergestützte Simulationen von komplexen Situationen ermöglichen es, den Umgang damit zu trainieren. Die Simulationen müssen zielgruppen-

4 Präventives Risikomanagement bei Ungewißheit

Risiken sind per definitionem gekennzeichnet durch einen gewissen Grad an Ungewißheit, die von geringfügigen Ungenauigkeiten in der Vorhersagbarkeit bis zu prinzipiellen Unbestimmbarkeiten der wesentlichen Prozesse reichen kann (Kap. C 1.2). Besondere Schwierigkeiten bereitet die schnelle Einführung neuer Produkte, Techniken oder Strukturen, die in einer nur in Konturen zu erahnenden Zukunft schwer beherrschbare Gefahren heraufbeschwören könnte. Dieses Problem wird dann noch verschärft, wenn es sich um komplexe Wirkungszusammenhänge handelt, wie sie in Umweltsystemen in aller Regel zu finden sind. Die entscheidende Frage für präventives Risikomanagement lautet also: Gibt es Prinzipien für die Gestaltung des gesellschaftlichen Innovationsprozesses, die vorbeugend bereits die Entstehung nicht vorhersehbarer ökologischer Risiken vermeiden helfen, so daß sich das reaktive Management bereits erkannter Risiken erübrigt?

Eine triviale Antwort auf diese Frage wäre die Einstellung sämtlicher zivilisatorischer Eingriffe in die Natur. Da dies weder wünschenswert noch durchführbar ist, müssen intelligente Strategien gefunden werden, welche anthropogene Umweltrisiken vermeiden helfen, ohne die sozioökonomischen Entwicklungschancen tiefgreifend zu behindern.

4.1

Unvermeidbare Wissensdefizite

Wissensdefizite über mögliche Risiken, die mit neuen oder auch mit bereits existierenden Technologien oder Systemen verbunden sind, können unterschiedliche Gründe haben. Das Nicht-Wissen kann immanent, also durch den Charakter des betrachteten Systems bedingt sein. So gibt es bei komplexen, nichtlinearen Systemen, zu denen Umweltsysteme insbesondere in ihrer Mensch-Umwelt-Wechselwirkung immer gehören, grundsätzliche Grenzen der Vorhersagbarkeit (Kap. E 4.1). Mit Wissensdefiziten muß eine Gesellschaft aber auch deshalb leben, weil die Menschen und die Wissenschaft nur begrenzte Möglichkeiten zur Vorhersage oder zur Prognose möglicher

cher Gefahren besitzen. Hier spielen einerseits die Grenzen der Wissenschaft eine Rolle – beispielsweise die begrenzte Rechnerkapazität für die Klimamodellierung – andererseits auch psychologische „Fallen“, die dazu führen können, daß Menschen Risiken nicht erkennen (Kap. G 3).

Im vorliegenden Abschnitt soll untersucht werden, welche Strategien ergriffen werden können, um trotz dieser Wissensdefizite unerwünschte Risiken so weit wie möglich auszuschalten. Es geht also hier sozusagen um die „Vermeidung neuer Ozonlöcher, ohne sie zu entdecken“ (Kap. G 3).

Das Beispiel des Ozonlochs kann wertvolle Hinweise geben. Die für die Zerstörung der Ozonschicht verantwortlichen Stoffe (FCKW, H-FCKW und Halone) wurden deshalb in breitem Maßstab angewendet, weil sie nicht brennbar und ungiftig sind. Erst 1975 wurde der Verdacht auf eine ozonschädliche Wirkung erstmals geäußert und durch noch vorläufige Analysen untermauert (Rowland und Molina, 1975). In dieser Phase hätte man das Risiko des Ozonabbaus durch FCKW und andere Stoffe dem Risikotyp Pythia zuordnen können: Aus einem Zustand der Ahnungslosigkeit über ein mögliches Problem (Auswirkung der FCKW auf stratosphärisches Ozon) wird durch Verbesserung des Wissens ein in Ansätzen erkennbares Risiko, das aber in seinem Schadensausmaß und seiner Eintrittswahrscheinlichkeit noch nicht quantitativ abschätzbar ist. Das jährlich im antarktischen Frühling beobachtete Ozonloch und die wissenschaftlichen Erkenntnisse zu seiner Entstehung führten schließlich zu einer immer stärkeren Gewißheit, so daß das Risiko inzwischen auch quantitativ abschätzbar ist.

Für das Thema Prävention ist die entscheidende Frage, ob nicht bereits bei der Neuentwicklung der FCKW vor einem Ozonloch hätte gewarnt werden können. Selbstverständlich kann nicht erwartet werden, daß die Wissenschaft ohne den durch die Beobachtungen gegebenen Anreiz die Erklärungsmodelle entwickelt hätte, die zum heutigen Verständnis der Prozesse in der Stratosphäre geführt haben. Doch die hohen Werte bei den Kriterien der Ubiquität und Persistenz hätten Anlaß zu der Frage geben können,

ob der breite Einsatz dieser Stoffgruppe ohne intensivere vorausschauende Technikfolgenabschätzung und -bewertung gerechtfertigt ist. Diese präventive Technikbewertung anhand allgemeiner Kriterien unterscheidet sich damit von der sonst üblichen probleminduzierten Technikfolgenabschätzung (Ewen et al., 1998).

Das Beispiel des Ozonlochs zeigt auch, daß es bei der vorausschauenden Technikbewertung entscheidend darauf ankommt, alle relevanten Systemebenen – von der toxischen Wirkung auf Zellen bis hin zur Wirkung auf das globale Umweltsystem – im Blick zu haben, sowohl die des natürlichen Systems als auch die des darin eingreifenden Systems (der Technologie und seiner Rahmenbedingungen). Die FCKW sind in ihrer unmittelbaren Auswirkung auf die Biosphäre tatsächlich ungefährlich. Bezieht man jedoch das gesamte System Erde einschließlich der Atmosphäre ein, werden erhebliche Schadenspotentiale erkennbar.

**4.2
Struktur der Einwirkung anthropogener Systeme auf die Umwelt**

Im folgenden soll zunächst versucht werden, die Struktur der Aufgabenstellung herauszuarbeiten (Abb. G 4.2-1).

Aus einem Eingriff eines anthropogenen Systems (Agens) in ein ökologisches System (Reagens) und dem unvollständigen Wissen über die Wirkungsweisen beider Systeme und ihrer Wechselwirkungen ergeben sich Risiken einmal als direkte Folge dieses

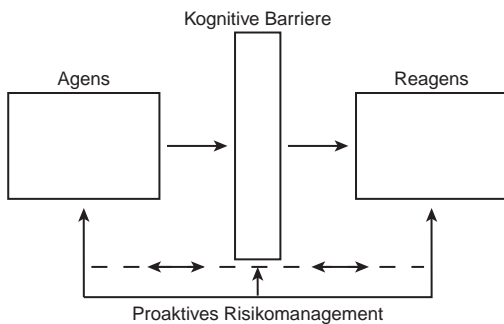


Abbildung G 4.2-1
Struktur des Zustands der „kausalen Ignoranz“, der präventive Strategien erforderlich macht. Grundsätzlich ist ein anthropogenes Agens im Spiel, das über Umweltprozesse ein Reagens von zivilisatorischer Bedeutung schädigen könnte. Ursache und Wirkung sind allerdings durch eine kognitive Barriere voneinander getrennt, die meist nicht statistischer, sondern prinzipieller Art ist. Proaktives Risikomanagement kann auf alle 3 Strukturelemente einwirken.
Quelle: WBGU

Eingriffs, andererseits als Folge von Wechselwirkungen zwischen den beiden Systemen oder innerhalb der Systeme. Betroffene Systeme können beispielsweise einzelne Organismen oder ganze Ökosysteme sein, aber auch menschliche Gesellschaften oder etwa eine Volkswirtschaft. Beispiele für eingreifende Systeme können einzelne Menschen, menschliche Gesellschaften oder Technologien sein. In vielen Systemen sind zudem möglicherweise sowohl eingreifende als auch betroffene Elemente enthalten. Dennoch ist diese Unterscheidung unter dem jeweiligen Blickwinkel des Risikomanagements wichtig, da Strategien zur Vermeidung oder Minderung eines Risikos jeweils unterschiedlich bei eingreifenden bzw. betroffenen Systemen ansetzen können.

Zwischen eingreifenden und betroffenen Systemen befindet sich eine meist nicht vollständig vermeidbare „kognitive Barriere“, die Wissensdefizite oder gar Unkenntnis über die genauen Wirkmechanismen und damit über die möglichen Folgen des Eingriffs symbolisiert.

Wissensdefizite können einerseits darin begründet sein, daß entweder das betroffene oder das eingreifende System nicht hinreichend bekannt oder berechenbar sind. Sie können aber auch darin begründet sein, daß die Wirkungen des eingreifenden Systems auf das betroffene System nicht oder nur begrenzt bekannt oder kalkulierbar sind. Diese Art der Wissensdefizite kann auch mögliche Rückkopplungen zwischen den Systemen betreffen. Wissensdefizite können aber auch deshalb vorliegen, weil psychologische, motivationale oder soziale „Risikofallen“ die Menschen daran hindern, ein Wissen zu erwerben, das grundsätzlich zugänglich wäre (Kap. G 3).

Sowohl für die einzelnen Systeme als auch für die Wechselwirkung zwischen eingreifenden und betroffenen Systemen ist jeweils eine Hierarchie von Systemebenen zu berücksichtigen (Ewen et al., 1998):

1. *Die Ebene des einzelnen Stoffs, der einzelnen Anlage, des einzelnen Organismus:* Auf diese Ebene der betroffenen und eingreifenden Systeme beziehen sich häufig traditionelle Instrumente der Technikfolgenabschätzung sowie des (technischen) Risikomanagements.
2. *Die Ebene des technischen oder natürlichen Systems:* Als Beispiel für ein *betroffenes* System soll hier das globale Klimageschehen dienen, auf das die Energiewirtschaft als *eingreifendes* System einwirkt. Die Energiewirtschaft umfaßt dabei sowohl die gewählten Technologien und die dazugehörige Infrastruktur als auch die politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Sie kann mittelbar selbst zu einem betroffenen System werden, z. B. durch die Rückwirkung einer Klimaänderung oder durch Eingriffe anderer Systeme, die

sich etwa auf die politischen oder wirtschaftlichen Rahmenbedingungen auswirken.

3. *Die Ebene der Gesellschaft oder der Natur als Ganzes:* Hier geht es darum, die Wechselwirkung zwischen verschiedenen Paaren von eingreifenden und betroffenen Systemen zu untersuchen, um mögliche Folgen unter Berücksichtigung dieser Wechselwirkung abzuschätzen: inwieweit sind möglicherweise bestehende Regelungsgleichgewichte, Energie- und Stoffkreisläufe betroffen? Ein Beispiel ist die Wechselwirkung zwischen Klimasystem und Biosphäre.

Für die vorausschauende Bewertung einer Technologie im Hinblick auf unerwünschte Folgen genügt es nicht, Systemelemente isoliert voneinander zu betrachten. Um beispielsweise die Folgen von Energietechnologien auf das Klimasystem abzuschätzen, reicht es nicht, die Emissionen oder mögliche Störfälle einzelner Kraftwerke zu bewerten. Auch muß man darüber hinausgehen, nur einzelne Anlagen (etwa ein Kohlekraftwerk oder einen Atomreaktor) zu vergleichen (erste Ebene). Das gesamte Energiesystem, einschließlich der organisatorischen, ökonomischen und rechtlichen Rahmenbedingungen, sowie das globale Klimasystem müssen untersucht und bewertet werden, wenn man mögliche negative Auswirkungen auf das Klimasystem verstehen und antizipieren will (zweite Ebene). Schließlich gilt es bei der Bewertung etwa eines Energiesystems, die Wechselwirkungen zwischen Klimasystem und Biosphäre oder zwischen der Energieversorgung und anderen Schutzgütern wie etwa „Demokratie“ oder „Ernährungssicherheit“ zu untersuchen (dritte Ebene: Wechselwirkung zwischen Gesamtheiten).

Diese Unterscheidung macht deutlich, daß selbst bei routinemäßiger Anwendung von Technologien (die zu einem bestimmten Zeitpunkt durch einen Innovationsprozeß entstanden sind) mit Wissensdefiziten bezüglich der komplexen Wechselwirkungen in und zwischen Systemebenen gerechnet werden muß. Als Beispiel wird nochmals auf die ozonzerstörenden Substanzen hingewiesen, deren Gefahr erst bei der Berücksichtigung ihrer Wechselwirkungen mit der Erdatmosphäre deutlich wird. Ein anderes Beispiel ist die Nutzung fossiler Brennstoffe, die in ihren Auswirkungen auf das Klimasystem ganz anders zu beurteilen sind als in ihren lokalen Auswirkungen.

Häufig entstehen Risiken bei einzelnen Anlagen durch unerwünschte Nebenwirkungen, die verhindert oder gemindert werden können, ohne auf die erwünschte Hauptwirkung zu verzichten. So können der Schadstoffausstoß oder die Störfallhäufigkeit einer Anlage zur Herstellung von Chlorprodukten durch technisches Risikomanagement erheblich reduziert werden, ohne auf die Produktion grundsätzlich zu verzichten (Hartwig, 1998; Kasten G 4.2-1).

Allerdings werden dafür lediglich die Risiken der ersten Ebene der einzelnen Anlage und der unmittelbaren Umgebung betrachtet.

Globale Umweltprobleme zeichnen sich aber dadurch aus, daß die problematischen Wechselwirkungen auf höheren Systemebenen (etwa zwischen Energieversorgung und Klimasystem) gerade durch die *erwünschten* Wirkungen des eingreifenden Systems entstehen. Im Beispiel der Energiewirtschaft ist dies die Bereitstellung von Energie durch Verbrennung fossiler Energieträger, mit der unvermeidlichen Freisetzung von Kohlendioxid, das als klimawirksames Gas in das Klimasystem eingreift und zu einer globalen Erwärmung sowie zu einer Verschiebung von räumlichen und zeitlichen Klimamustern führt (Kap. D 6). Gerade die bestimmungsgemäße „normale“ Nutzung der eingreifenden Systeme kann auf einer anderen Systemebene unerwünschte Folgen haben (Hartwig, 1998). Dies geschieht häufig durch Akkumulations- oder Synergieeffekte, die von bekannten Technologien ausgehen, aber deren Ausmaß nicht vorhergesehen wurde oder werden konnte (Kap. G 1).

Betrachtet man die in diesem Gutachten entwickelte Risikotypisierung (Kap. C), so hat man es in den oben genannten Fällen meist mit den Risikotypen Pandora oder Pythia zu tun. Das rechtzeitige Erkennen des zugrundeliegenden Risikotyps kann Hinweise auf mögliche Strategien im Umgang mit unbekanntem Risiken geben (Kap. H 2.1).

Akkumulationsrisiken sind häufig für einzelne Organismen ungefährlich und werden deshalb zunächst oft übersehen oder unterschätzt, weil höhere Systemebenen nicht bei der Abschätzung berücksichtigt wurden. Auch sind dies typische Risiken, für die keine vollständige Haftung möglich ist. Deshalb gilt es, hier präventive Strategien zur Risikovermeidung zu entwickeln.

Das Risiko R läßt sich durch die Beziehung

$$R = W \cdot A$$

pauschal charakterisieren, wobei $W \in \{0, 1\}$ die Eintrittswahrscheinlichkeit des schadenswirksamen Ereignisses und $A > 0$ das Schadensausmaß bezeichnet (Kap. C). Präventives Risikomanagement muß entweder auf die *ex ante* Reduzierung von W und A ohne eigentliches Wissen (Agens-Reagens-Management) einwirken oder auf die Präzisierung dieser Faktoren durch Überwindung der kognitiven Barriere (Wissensproduktion) unter Beachtung der unvermeidbaren „Risikofallen“ setzen (Kap. G 3). Darüber hinaus sind Mischstrategien möglich, die alle diese Elemente miteinander verknüpfen. Die möglichen Optionen sollen im folgenden erläutert werden. Dabei ist der Beirat bemüht, möglichst viele qualitativ unterschiedliche Möglichkeiten zu skizzieren, ohne diese jedoch hier politisch zu bewerten.

Kasten G 4.2-1

Risikomanagement in der Technik

Die Sicherheitstechnik und das Risikomanagement haben eine Reihe von Methoden entwickelt, mit denen man für technische Systeme Risiken vermeiden oder minimieren kann. Allerdings werden diese meist nur bei einzelnen Anlagen angewandt (Hartwig, 1998).

Durch geeignete Konstruktion von Systemen kann die Folge von Systemversagen vorweggenommen und gemindert werden, indem beispielsweise Rückhaltesysteme eingeplant werden. Die Konstruktion eines Systems kann aber auch durch Anwendung einer Reihe von Prinzipien grundsätzlich fehlertoleranter gemacht werden, so daß durch erhöhte Zuverlässigkeit technischer Systeme Risiken minimiert werden. Wichtigste Konstruktionsprinzipien hierbei sind (Hartwig, 1998):

- **Funktionale Vielfältigkeit und Redundanz:** Für eine Funktionsweise werden mehrere verschiedene Möglichkeiten bereitgestellt. Versagt eine, kann immer noch eine andere den bestimmungsgemäßen Betrieb aufrechterhalten.
- **Unabhängigkeit (Entkopplung) und Trennung von Untereinheiten:** Systeme, die zusammen arbeiten, werden so konstruiert, daß sie möglichst wenig gemeinsame Kopplungen haben. So kann es die Zuverlässigkeit eines Systems mehrerer elektrischer Einheiten erhöhen, wenn die Spannungsversorgung für jede elektrische Einheit getrennt erfolgt.
- **Modularität:** Untereinheiten werden so weit wie möglich autark entworfen. Die Kopplung zwischen den Untereinheiten ist möglichst linear. Wenn das System versagt, lassen sich Fehler damit leichter analysieren und erkennen. Auch kann bei Ausfall einer Untereinheit die Funktion durch eine neue Untereinheit ersetzt werden, ohne daß unerwartete Wechselwirkungen zu beachten sind.
- **Elastizität und Resilienz:** Elastische Systeme (auch robuste, widerstandsfähige Systeme genannt) kehren nach einer äußeren Störung in ihren Ausgangs- oder Gleichgewichtszustand zurück. Sie sind also, innerhalb bestimmter Grenzen, unempfindlich gegenüber Störungen. Technisch wird diese Eigenschaft häufig durch stark gegengekoppelte Vorschaltungen erreicht.

Diese Konstruktionsprinzipien erhöhen die Fehlerfreundlichkeit des Systems, geben ihm also eine passive Sicherheit. Die Zuverlässigkeit eines Systems kann grundsätzlich auch durch Automation erhöht werden, da technisches Versagen berechenbarer und meist kleiner ist als menschliches Versagen (Hartwig, 1998). Zusätzlich können an kritischen Stellen eines Systems Indikatoren eingebaut werden, die über den Zustand des Systems Auskunft geben. Auch das wiederholte Testen von Systemen kann Risiken verhindern. Das Risikomanagement hat dann die Aufgabe, über eine Reihe von Regelgrößen und Regelkreisen den erwünschten Normalzustand zu erhalten oder im Fall einer Abweichung (Störung) das System in diesen Zustand zurückzuführen. Das Risikomanagement ist damit an eine Reihe wohldefinierter Voraussetzungen geknüpft (Hartwig, 1998):

- Es muß Klarheit darüber bestehen, welche *Schadenskategorien* angesprochen sind bzw. welche Schäden befürchtet werden. Bei abgeschlossenen technischen Systemen wie beispielsweise Fabrikanlagen sind die Schadenskategorien klar. Schäden bei einer Fabrik können zu hohe Produktionskosten, fehlerhafte Produkte, Gesundheitsgefährdungen oder Unfälle sein, aber auch Schäden beim Gebrauch der Produkte, Umweltschäden (bei Unfall- oder Normalemission) und Störfälle.
- Für das *Schadensausmaß* muß ein Grenzwert festgelegt werden, damit bei Überschreiten oder Unterschreiten des Grenzwerts über eine Regelgröße Maßnahmen zur Schadensminderung oder -vermeidung ergriffen werden. Beispiele hierfür sind die Maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen (MAK), die gesetzlich festgelegt werden. Nicht nur für die Schadenskategorien werden Grenzwerte zum Auslösen von Regelmechanismen festgelegt, sondern auch für die Eintrittswahrscheinlichkeit. Ist die *Eintrittswahrscheinlichkeit* zu niedrig, wird kein Regelmechanismus in Gang gesetzt.

Bei jeder Technik, die nach den obigen Prinzipien funktioniert, läßt sich das Risikomanagement als ein Regelkreis darstellen. Die zu regelnden Größen sind die technische Auslegung des Systems, der Produktionsvorgang, die hergestellten Produkte und die Einbettung in die organisatorischen, politischen und technischen Rahmenbedingungen. Für das Risikomanagement müssen für diese Größen Regel- und Grenzwerte vorgegeben werden. Hierbei werden allerdings nicht die Risiken des normalen Produktgebrauchs erfaßt.

Ein weiteres anlagenbezogenes Konzept ist das der inhärenten Sicherheit. Von inhärenter Sicherheit spricht man, wenn eine technische Anlage schadlos bleibt, selbst wenn wesentliche Teile außer Funktion geraten (Ewen et al., 1998). Es wurde ursprünglich für Kernreaktoren entwickelt. Der Begriff der inhärenten Sicherheit suggeriert, durch technische Auslegung der Anlage sei es möglich, diese vollständig sicher zu machen, selbst wenn mit potentiell gefährlichen Inhaltsstoffen gearbeitet wird. Die Erfahrungen zeigen aber, daß es keine inhärente Sicherheit gibt, allenfalls reduzierte Anfälligkeit (Ewen et al., 1998). Ausgangspunkt des Konzepts ist in jedem Fall der Umgang mit gefährlichen Stoffen oder Anlagen. Dieser soll nicht vermieden, sondern der Eintritt einer Gefahr möglichst verhindert werden. Daher greifen diese Methoden des Risikomanagements nicht bei globalen Umweltproblemen, denn diese werden nicht auf der Ebene einzelner Anlagen oder Stoffe verursacht, sondern liegen auf der Ebene des Zusammenwirkens zwischen natürlichen und menschlichen Systemen (Hartwig, 1998).

So stellen FCKW für den Regelkreis kein Problem dar, denn es gibt keine Regelkenngröße, die signalisiert, daß Risikomanagement überhaupt aktiviert werden muß. Das Problem ist hier nicht das einzelne technische System, sondern die Tatsache, daß dieses System bereits im Normalbetrieb Veränderungen in der Umwelt hervorruft (was für globale Umweltrisiken der Typen Pandora, Pythia und Zyklop typisch ist). Die Risiken sind also technologieinhärent und deshalb nicht durch eine Verbesserung der Technologie zu ändern. Eine Abschwächung des Risikos ist oft nur durch den verminderten Einsatz einer Technologie – etwa durch Substitution – zu erreichen.

4.3 Wissensmanagement

Abb. G 4.3-1 zeigt den „Normalfall“, bei dem ein Risiko als solches wahrgenommen und erkannt wird.

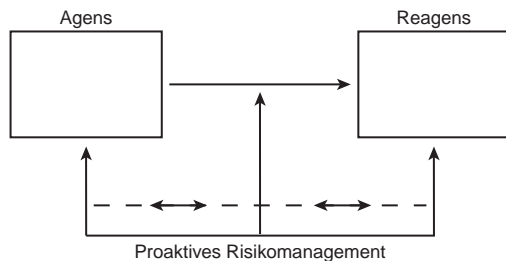


Abbildung G 4.3-1
Managementoptionen im Zustand der „kausalen Perzeption“ (Normalfall), wo keine grundsätzliche kognitive Barriere vorliegt. Das Risiko kann gemindert werden, indem z. B. das Agens beseitigt, die Wirkungskette unterbrochen oder das Reagens geschützt wird.
Quelle: WBGU

Die naheliegendste (aber nicht notwendig einfachste) Strategie für den Fall der Ahnungslosigkeit ist die Zurückführung des Problems auf den Normalfall durch vorsorgende Wissensproduktion ohne spezifische Zielführung. Gerade weil die hier betrachteten Risiken nicht systematisch erforschbar sind, muß die Chance gewahrt bleiben, daß sie im Rahmen einer möglichst breiten Grundlagenforschung „zufällig“ entdeckt werden können. Dafür ist allerdings erforderlich, daß der allgemeinere Erkenntniszuwachs ein Vielfaches der durch Innovationen neu erzeugten Wissensdefizite über Risiken beträgt. Dies bedeutet, daß die Geschwindigkeiten für die Produktion von Systemkompetenz und -komplexität in einem adäquaten Verhältnis zueinander stehen müssen. Dabei sind auch die psychologischen und sozialen Faktoren zu berücksichtigen, die häufig zu einer Ausblendung von im Grund vorhandenem oder verfügbarem Wissen führen (Kap. G 3). So kann eine breite Beteiligung aller betroffenen gesellschaftlichen Gruppen am Prozeß der Gewinnung von Systemkompetenz dazu beitragen, soziale Dilemmas (Inkaufnahme von Risiken für kurzfristige Vorteile) zu überwinden oder zumindest einzugrenzen.

In der modernen Physik spielen Zufallssuchverfahren, sog. Monte-Carlo-Methoden, eine wichtige Rolle beim Auffinden von Lösungen hochkomplexer Probleme, die sich nicht mit gezielten Strategien behandeln lassen. Häufig werden z. B. computergestützte „Zufallsspaziergänge“ (random walks) im Raum der potentiellen Lösungen durchgeführt. Eine solches Vorgehen ist allerdings nur dann vielverspre-

chend, wenn diese die möglichen Lösungen hinreichend dicht und rasch abtasten. In mathematisch gut definierten Fällen lassen sich die Erfolgsquoten in Abhängigkeit von Lösungs- und Abtastcharakteristik sogar präzise angeben.

Das zufällige Aufspüren globaler Umweltrisiken ist ein ungleich schwierigeres Unterfangen, das vor wenigen Jahrzehnten noch als völlig hoffnungslos eingestuft worden wäre. Die großen Fortschritte im Bereich von Prozeßverständnis, Datenerhebung und Informationstechnologie lassen dieses Problem jedoch mittlerweile in einem günstigeren Licht erscheinen. Die Erzeugung und Erforschung virtueller Realitäten auf der Basis von massiv parallelen Rechenverfahren werden dabei eine zunehmend größere Rolle spielen (Schellnhuber und Kropp, 1998a). Mit diesen Verfahren kann man das reale globale Umweltsystem durch Zufallsprozesse eines Ensembles künstlicher „Computerwelten“ simulieren, wodurch selbst analytisch unzugängliche Risikozusammenhänge erkennbar werden.

In den oben beschriebenen Fällen von Wissensdefizit, wo bereits durch Normalbetrieb des „eingreifenden Systems“ höhere Systemebenen betroffen werden, kann eine staatlich geförderte und international koordinierte Wissensproduktion notwendig sein, da private dezentrale Wissensproduktion die Ebene des Gesamtsystems kaum angemessen berücksichtigen kann. Auch sind, bedingt durch die Größenordnungen, Forschungsstrukturen und Hilfsmittel notwendig, die nur zentral effektiv organisiert und betrieben werden können (z. B. Klimarechenzentrum für globale Klimasimulationen; Kap. G 1). Zentrale und dezentrale Wissensproduktion sind dabei als einander ergänzend zu sehen.

Wissensproduktion kann auch dadurch gefördert werden, daß möglichst alle gesellschaftlichen Gruppen an der Entscheidung über die Einführung von Innovationen sowie ihrer Bewertung beteiligt werden. Entscheidend ist hier zum einen die Transparenz von Verfahren und Entscheidungsprozessen und der Zugang zu Informationen für die Allgemeinheit. Dadurch kann die Wahrscheinlichkeit für die Entdeckung möglicher negativer Folgen erhöht werden. Auch kann damit den meist nicht restlos vermeidbaren kognitiven, motivationalen und sozialen „Risikofällen“ eher Rechnung getragen werden, als wenn die Wissensproduktion und Bewertung auf eine kleine Gruppe von Spezialisten begrenzt wird. Ein solcher Prozeß kann auch mit einer schrittweisen Einführung von Innovationen und begleitendem Monitoring verbunden werden.

4.4
Agensmanagement

Für einzelne Anlagen können Risiken durch Beachtung gewisser *Konstruktionsprinzipien* (Fehlerfreundlichkeit durch modularen Aufbau, Redundanz usw.) vermieden werden (Kasten G 4.2-1). Diese Strategie ist nur dann anwendbar, wenn sich eine erwünschte Hauptwirkung von unerwünschten (etwa durch innere oder externe Störungen hervorgerufenen) Nebenwirkungen unterscheiden lassen. Hier ist das *technische Risikomanagement* zu nennen, das mit der Beobachtung von Regelgrößen des Systems und dem Vergleich mit Grenzwerten arbeitet (Hartwig, 1998). Daneben gibt es eine Reihe von *organisatorischen Managementprinzipien* (high reliability, Reflexionssysteme, Redundanz usw.), die die Fehleranfälligkeit von Systemen mindern können. Auch die Strategien zur frühzeitigen Erkennung unerwünschter Entwicklungen durch entsprechende Organisationsprinzipien (Frühwarnsysteme, Monitoring) sind hier zu nennen.

Wie bereits erwähnt, sind diese Methoden des technischen und organisatorischen Risikomanagements auf die Ebene einzelner Anlagen oder Systeme beschränkt. Wenn die erwünschten Hauptwirkungen (etwa der Energieerzeugung im Normalbetrieb) mit gefährlichen Auswirkungen auf höherer Systemebene (etwa auf das Klimasystem) untrennbar verbunden sind, kann technisches Risikomanagement nicht greifen. In diesem Fall müssen alternative Technologiepfade (einschließlich der für diese erforderlichen politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen) hinsichtlich bereits bekannter und noch unbekannter Risiken verglichen und bewertet werden.

Im folgenden werden einige unterschiedliche Basisstrategien vorgestellt, die für ein präventives Risikomanagement zur Verfügung stehen.

Ausschluß

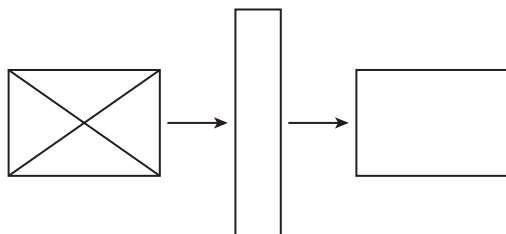


Abbildung G 4.4-1
Ausschluß.
Quelle: WBGU

Mit Ausschlußstrategie (Abb. G 4.4-1) bezeichnet der Beirat einen weitgehenden Verzicht auf die Implementierung von Substanzen, Prozessen und Strukturen ohne empirischen „Vorlauf“. Entsprechend anzustreben wäre die Maximierung von zivilisatorischer Wertschöpfung mit „natürlichen“ Mitteln unter minimalem Einsatz von Ressourcen und dynamisch-strukturellen Eingriffen (Bleischwitz, 1998). Dazu gehört etwa die Strategie der Minimierung von Stoffströmen.

Umlenkung

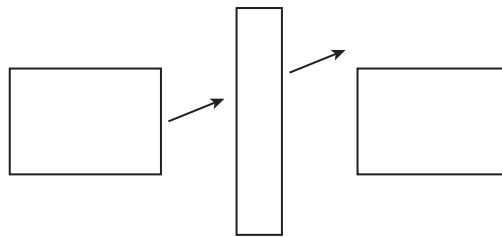


Abbildung G 4.4-2
Umlenkung.
Quelle: WBGU

Die „Umlenkungsstrategie“ (Abb. G 4.4-2) versucht, trotz fehlenden Verdachts das Einwirken innovativer Agentien auf bestimmte Umweltkomponenten vorsorglich zu vermeiden. Beispiele hierfür sind die Vermeidung der Einführung nichtheimischer Arten (Kap. D 4) oder die Minderung der Reaktionsfähigkeit von Substanzen in trophischen oder atmosphärisch-chemischen Prozessen.

Begrenzung (Containment)

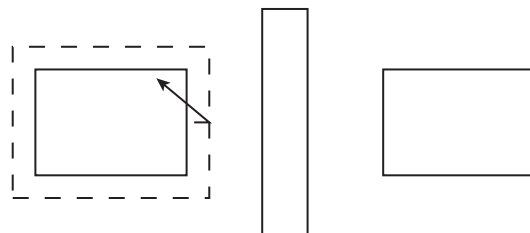


Abbildung G 4.4-3
Begrenzung.
Quelle: WBGU

Risiken können auch dadurch vermieden werden, daß die Ausbreitung potentiell umweltwirksamer Stoffe oder Prozesse weitestgehend begrenzt wird (Abb. G 4.4-3). Ein gutes Beispiel ist die Führung von Arbeitsmedien, Katalysatoren usw. in der industriellen Produktion in geschlossenen Kreisläufen. Besonders problematisch ist dagegen der Einsatz

von Substanzen mit sehr großem Fürsorgehorizont (z. B. Plutonium).

4.5 Reagensmanagement

Komplementäre Strategien „jenseits der kognitiven Barriere“ zielen darauf, natürliche und zivilisatorische Schutzgüter gegen ein möglichst breites Spektrum von schädigenden Einwirkungen abzusichern. Dabei sind v. a. systemimmanente Eigenschaften der Schutzgüter wie Lern- und Entwicklungsfähigkeit zu stärken. Ein verbessertes Verständnis der Evolution biologischer Systeme wird hierfür von großem Nutzen sein. Für gesellschaftliche und wirtschaftliche Systeme lassen sich unbestimmte Risiken auch durch eine Minderung der *Vulnerabilität* vermeiden oder verringern (Kap. E 2).

Ähnlich wie bei den Agensmanagementstrategien beruhen die hier beschriebenen Strategien auf Systemeigenschaften, die im technischen Risikomanagement häufig zur Erhöhung der passiven Sicherheit technischer Anlagen angestrebt werden (Hartwig, 1998; Kasten G 4.2-1).

Expositionsminderung

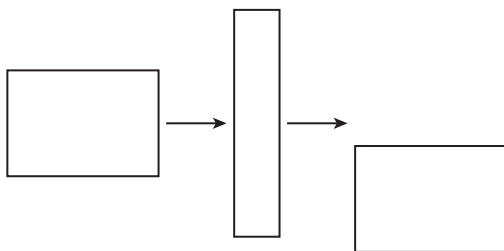


Abbildung G 4.5-1
Expositionsminderung.
Quelle: WBGU

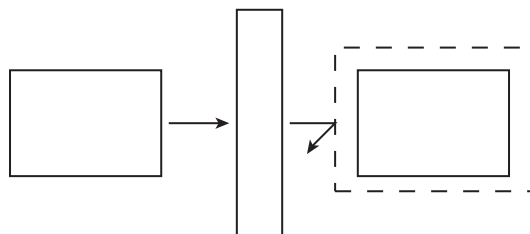


Abbildung G 4.5-2
Schutz.
Quelle: WBGU

Auf der Seite des Reagens kann man entweder versuchen, das bedrohte System aus Bereichen hoher

Exposition herauszuhalten (Ausweichstrategie, Abb. G 4.5-1) oder es vor Eingriffen zu schützen (Schutzstrategie, Abb. G 4.5-2). Beispiele für eine Ausweichstrategie reichen vom Reinheitsgebot für bestimmte Lebensmittel bis zur Vermeidung von Siedlungen in Räumen mit spezifischen Morphologien (zu stark oder zu schwach gegliedert). Maßnahmen der Schutzstrategie erstrecken sich von kleinräumigen Naturschutzgebieten bis hin zum kontinentweiten Antarktisschutzabkommen.

Desensibilisierung

Desensibilisierungsstrategien zielen darauf, Umweltsysteme oder soziale oder technische Systeme durch gestaltende Eingriffe robuster gegenüber Störungen aller Art zu machen. 2 besonders wichtige Systemeigenschaften gilt es dabei zu stärken: Modularität und Elastizität.

Modularität

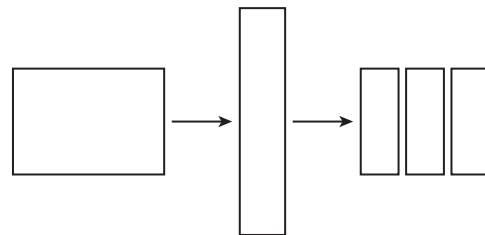


Abbildung G 4.5-3
Modularität.
Quelle: WBGU

Insbesondere bei zivilisationsnahen Umweltsystemen wie der Versorgung mit Süßwasser sollte eine starke Gliederung (Abb. G 4.5-3) in schwach gekoppelte Kompartimente angestrebt werden, beispielsweise zur Vermeidung von „Dominoeffekten“. Die Störungsfortpflanzung in komplexen Systemen kann auf verschiedene Weisen vermindert werden: Einbau von Sollbruchstellen, Stärkung von Rückstellkräften, Retardation und Dispersion von Reaktionsgeschwindigkeiten durch nichtlineare Komposition oder großräumige Verteilung der Elemente.

Elastizität

Hierbei geht es darum, die Eigenschaften des Schutzguts zu stärken, welche ein selbsttätiges „Ausweichen“ gegenüber Störungen aller Art bzw. eine „Selbstheilung“ oder sogar Weiterentwicklung des Umweltsystems nach einer schädigenden Einwirkung ermöglichen. Elastische Systeme (Abb. G 4.5-4) stehen im Gegensatz zu „spröden“ Systemen, die bis zu gewissen kritischen Belastungen kaum Reaktion zeigen, dann aber vollständig kollabieren („zerbre-

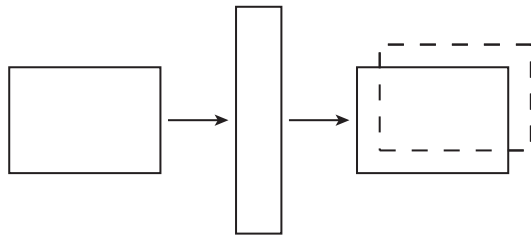


Abbildung G 4.5-4
Elastizität.
Quelle: WBGU

chen“). Systeme, die nach schwerwiegenden Störungen wieder in ihren Ausgangszustand zurückschwingen, heißen in der ökologischen Theorie resilient. Die Resilienz von Ökosystemen, beispielsweise gegenüber Klimaveränderungen, hängt u. a. von der Verfügbarkeit von Wanderungskorridoren und geografischen Refugien ab. Allerdings kann Elastizität durch Modularität und Diversität reduziert werden. Für gesellschaftliche und wirtschaftliche Systeme gehören Strategien zur Minderung der Vulnerabilität zu den Desensibilisierungsstrategien (Kap. E 4).

Substitution

Unter Substitutionsstrategien werden Strategien zusammengefaßt, die die Möglichkeit des Versagens des betrachteten Systems oder eines seiner Subsysteme berücksichtigen. Soll trotz des möglichen Ausfalls eines Teilsystems die Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems aufrecht erhalten werden, bieten sich hierfür die im folgenden beschriebenen Strategien an.

Redundanz

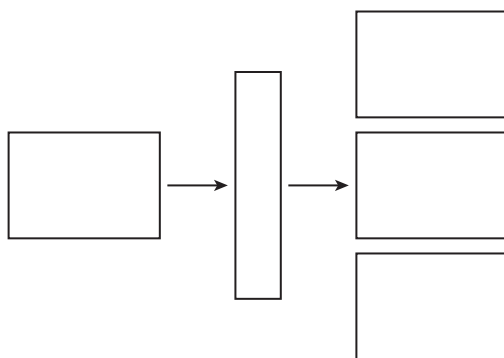


Abbildung G 4.5-5
Redundanz.
Quelle: WBGU

Unter Redundanz versteht man eine Mehrfachauslegung relevanter Systemkomponenten, so daß bei Ausfall einer Komponente die Reserve (backup) ein-

springen kann und ein Systemzusammenbruch vermieden wird (Abb. G 4.5-5). Im allgemeinen ist diese Strategie nur bei günstigen wirtschaftlichen Randbedingungen (z. B. dünn besiedeltes Industrieland wie Schweden) oder bei Inkaufnahme von Effizienz- nachteilen zugunsten von Sicherheitsaspekten möglich.

Diversität

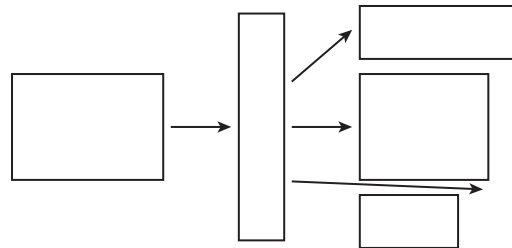


Abbildung G 4.5-6
Diversität.
Quelle: WBGU

Diversitätsstrategien (Abb. G 4.5-6) zielen auf eine Stärkung der möglichst heterogenen Zusammensetzung des Schutzgutes bzw. Vorhalten einer Kollektion von nicht identischen Exemplaren eines Schutzguttypes. Diese Strategien können beispielsweise in Land- und Forstwirtschaft angewendet werden, wo biogene Störungen eine eigene Entwicklungsdynamik haben.

Kompensation

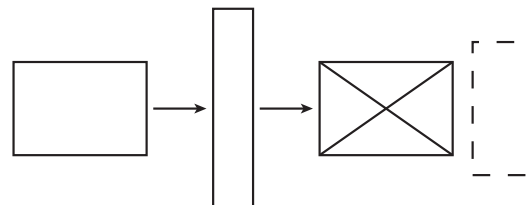


Abbildung G 4.5-7
Kompensation.
Quelle: WBGU

Das Risiko der Schädigung von Schutzgütern ist natürlich dann von geringer Bedeutung, wenn es einfache Möglichkeiten zur adäquaten Ersetzung (Abb. G 4.5-7) der bedrohten natürlichen oder zivilisatorischen Leistungen gibt. In einem utopischen Idealfall könnte eine „omnipotente“ öffentliche Hand die Generalhaftung für alle eventuell zu erbringenden Ausgleichsmaßnahmen übernehmen.

**4.6
Kombiniertes Management**

Für das Risikomanagement komplexer dynamischer Systeme in der Praxis eignen sich auch Mischstrategien von dynamisch-adaptivem Charakter. Hierbei soll zunächst das Zusammenspiel von Agens und Reagens durch indirekte Verfahren der Wissensproduktion aufgeklärt werden, um dann das System durch geeignete Führung außerhalb von Gefahrenbereichen zu halten.

Anpassung

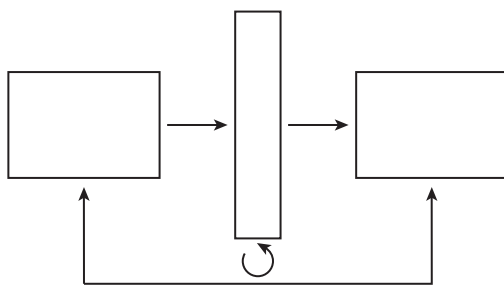


Abbildung G 4.6-1
Anpassung.
Quelle: WBGU

Die Strategie der gegenseitigen Anpassung (Abb. G 4.6-1) der Entwicklungen von Agens und Reagens beruht darauf, daß einerseits Agenzien stufenweise eingeführt werden, andererseits Reagenzien kontinuierlich weiterentwickelt werden. Hierbei ist die zeitliche Entwicklung der Anpassung von besonderer Bedeutung. Bei behutsamer Implementierung können Anpassungseffekte sogar ohne explizites Risikowissen realisiert werden. Die praktische Umsetzung einer solchen Anpassungsstrategie im Hinblick auf die Vermeidung noch unbekannter Risiken des Globalen Wandels erfordert einen langfristig angelegten Prozeß der Bewertung unter Einbeziehung aller relevanten Gruppen.

Iteration

Die Iterationsstrategie (Abb. G 4.6-2) setzt darauf, die verschiedenen Handlungsmöglichkeiten diesseits und jenseits der kognitiven Barriere im Wechselspiel anzuwenden. Dabei werden bei jedem Schritt kleine Lerneffekte erzielt, die eine graduelle gegenseitige Anpassung ermöglichen („Koevolution“). Dieser Fortschritt kann durch geeignete Diskursforen unterstützt werden (z. B. Expertenteams, Runde Tische, Auditorien usw., Kap. F 8).

Für beide Strategien ist die Anpassung sowohl auf der räumlichen als auch auf der zeitlichen Skala

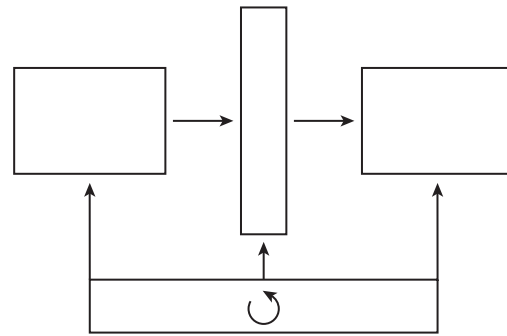


Abbildung G 4.6-2
Iteration.
Quelle: WBGU

wichtig. So müssen z. B. Geschwindigkeit der Entwicklung und Einführung neuer Technologien an die Zeitskalen der reagierenden Systeme angepaßt und auch mit den psychologischen Faktoren abgeglichen werden. Auch die Angemessenheit der Agenzien (angepaßte Technologie) sowie der Geschwindigkeit der Einführung an die psychologischen und sozialen Grundstrukturen spielt hier eine Rolle.

Fuzzy Control

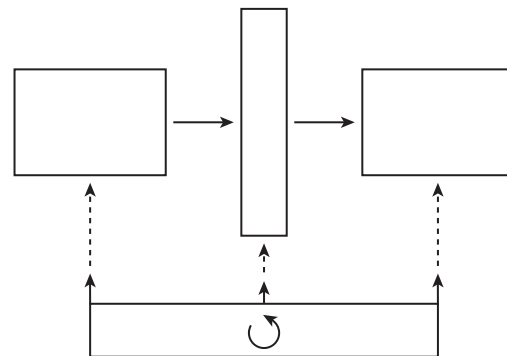


Abbildung G 4.6-3
Fuzzy Control.
Quelle: WBGU

Diese Strategie des Risikomanagements komplexer Systeme ist die bei sehr großer Unsicherheit effektivste Vorgehensweise (Schellnhuber und Wenzel, 1998b). Es handelt sich um eine iterative Strategie (Abb. G 4.6-3), die sich allerdings vom Standardverfahren (s. oben) durch 2 wesentliche Elemente unterscheidet: Erstens werden alle Managementmaßnahmen *unscharf* realisiert, was durch höhere Nachregelungsfrequenz wettgemacht werden kann. Zweitens sind die Managementinstrumente selbst so *flexibel* zu halten (z. B. ein Klimaschutzprotokoll), daß auch vollständiges Umsteuern in kurzer Zeit möglich ist.

4.7

Forschungs- und Handlungsempfehlungen

Für das Aufspüren noch unbekannter Risiken ist die Förderung einer möglichst breiten Grundlagenforschung unerlässlich. Dabei geht es um die Erforschung des gesamten Erdsystems, aber auch um Grundlagen für das Verständnis und die Steuerung komplexer nichtlinearer Systeme.

Das vom Beirat empfohlene (UN) Risk Assessment Panel (Kap. H) sollte die sich rasch entwickelnde Erdsystemforschung auswerten und Schlußfolgerungen zur Risikovermeidung ziehen. Die Erforschung des Globalen Wandels kann nicht auf staatlich geförderte und international koordinierte Kompetenzzentren verzichten.

Sowohl im Prozeß der Wissensproduktion als auch bei der Einführung von neuen Technologien oder Stoffen kann eine breite Beteiligung zivilgesellschaftlicher Akteure risikomindernd wirken. Voraussetzung dafür sind der freie Zugang zu allen relevanten Informationen sowie die Beteiligung der Bewertung von Forschungsergebnissen. International kann das beispielsweise dadurch geschehen, daß die Anhörung zivilgesellschaftlicher Akteure beim Risk Assessment Panel gewährleistet wird.

Für eine nationale und internationale Institutionalisierung einer vorausschauenden Technik- und Risikobewertung (Frühwarnsysteme) ist das bereits vorhandene Instrumentarium der Technikfolgenabschätzung weiterzuentwickeln. Es geht darum, bereits im Vorfeld – etwa bei Festlegung von Forschungsschwerpunkten – Einschätzungen zu formulieren, die in den politischen Entscheidungsprozeß eingehen können. Dazu können die hier entwickelten allgemeinen Strategien (Agensmanagement, Reagensmanagement, kombiniertes Management) eine wichtige Rolle spielen.

Wissensgenerierung und Einführung neuer Technologien und Stoffe sollten iterativ und unter jeweiliger Anpassung erfolgen. Die Anwendung oder Ausweitung von Technologien oder Stoffen sollte Schritt für Schritt genehmigt werden. Dabei ist auf die Anpassung der Geschwindigkeit der Innovation an die Geschwindigkeit der Wissensgenerierung zu achten (bei Vermeidung der oft unvermeidlichen kognitiven, motivationalen oder sozialen Risikofallen; Kap. G 3). Parallel dazu muß ein begleitendes Monitoring stattfinden, das alle Systemebenen im Blick haben muß. So wurden bisher nur bei weniger als 1% der weltweit erfolgten Freisetzungsversuche ökologische Parameter untersucht (Ewen et al., 1998).

Auch ist zu untersuchen und zu prüfen, inwieweit die in Kap. F beschriebenen Instrumente, insbesondere das Instrument der Gefährdungshaftung, einge-

setzt werden können, um unbekannt Risiken zu vermeiden. Beispielsweise ist denkbar, daß eine Gefährdungshaftung für die Ausbreitung von persistenten und ubiquitären Stoffen eingeführt wird, selbst wenn es noch keinerlei Anhaltspunkte für die Gefährlichkeit des Stoffs gibt. Die Kriterien der Persistenz und Ubiquität könnten auch ordnungsrechtlich relevant werden, etwa in Genehmigungsverfahren. Gerade zur Vermeidung unbekannter Risiken sind diskursive Verfahren der Risikokommunikation zur Bewertung von Technologien oder Stoffen wichtig (Kap. F 8). Werden ordnungsrechtliche und ökonomische Instrumente zur Vermeidung bereits bekannter Risiken eingesetzt, ist nach dem Vorsorgeprinzip immer eine Risikoprämie zur Berücksichtigung von möglicherweise noch unerkannten Risiken einzukalkulieren.

Die in Kap. G behandelten unbekannt Risiken werden aufgrund der Geschwindigkeit der technologischen Entwicklung und der fortschreitenden Wissensexplosion immer wichtiger. Mit zunehmender Innovationsdynamik steigt die Anzahl der Risiken, die mit technischen Neuentwicklungen verbunden sind, ohne daß durch Schadensfälle Erfahrungswissen über diese neuen Risiken entsteht. Die Unterbindung von Innovationsaktivitäten kann angesichts der Bedeutung von Innovationen für das Nachhaltigkeitsziel nicht die Lösung des Problems sein. Vielmehr muß versucht werden, in die Neuerungsaktivitäten Mechanismen einzubauen, die den innovativ Handelnden dazu veranlassen, sich über potentielle Auswirkungen seiner Tätigkeiten zu informieren, also Risikowissen zu generieren.

Wie schwierig sich die Behandlung dieser Phänomene darstellt, zeigt sich beispielsweise darin, daß unbekannt Risiken eben aufgrund der bestehenden Unkenntnis über die Existenz des Risikos nicht in die vom Beirat entwickelte Risikotypologie eingeordnet werden können. Die Behandlung von unbekannt Risiken erfordert zumindest in einigen Bereichen eine andere theoretische und politische Herangehensweise als der Umgang mit bekannt Risiken. Im Vordergrund der Diskussion über den geeigneten Umgang mit unbekannt Risiken steht der Wissensaspekt. Das noch nicht generierte bzw. nicht an den „richtigen“ Stellen in der Gesellschaft vorhandene Risikowissen ist als die entscheidende Steuerungsgröße für strategische Überlegungen zu der Thematik der unbekannt Risiken anzusehen.

Trotz der bestehenden Unterschiede in der Behandlung bekannter und unbekannter Risiken ist darauf hinzuweisen, daß der Übergang zwischen unbekannt Risiken, bei denen noch kein Risikowissen vorhanden ist, und bekannt Risiken teilweise fließend ist. Dies gilt insbesondere für die Risikotypen Pythia und Pandora, denn bei diesen Risikotypen existieren zwar Schadensvermutungen, es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, daß der risikoauslösende Tatbestand neben den vermuteten Schadenspotentialen auch noch zahlreiche, derzeit noch nicht bekannte Risikopotentiale in sich birgt. Die

hier angesprochenen Strategien eignen sich auch für den Umgang mit bekannt Risiken, beispielsweise dadurch, daß die Produktion von Wissen über die Eintrittswahrscheinlichkeit und das Ausmaß der Schadensfolgen angeregt wird. Dadurch kann sich die Einstufung des Risikos in die Risikotypologie ändern, wodurch ein anderes risikopolitisches Instrumentarium erforderlich wird.

Dieser Aspekt der Produktion von Risikowissen auf dezentraler Ebene steht im Vordergrund von Kap. G 2. Ausgangspunkt ist die Feststellung, daß von den umweltpolitischen Instrumenten in erster Linie vom Haftungsrecht, insbesondere wenn es in Form der Gefährdungshaftung angewandt wird, einerseits wissensproduzierende, andererseits innovationshemmende Wirkungen ausgehen. Von daher müssen verstärkt institutionelle Regelungen analysiert und auch in der Praxis getestet werden, die es den Unternehmen erlauben, die Strenge einer haftungsrechtlichen Regulierung zu lockern, wenn ihnen der Nachweis gelingt, daß ihre Aktivitäten mit einem geringeren Risiko für Mensch und Umwelt behaftet sind bzw. die entstehenden Risiken gut kontrolliert werden können. Auf diese Weise muß versucht werden, die innovationshemmenden Anreize des Haftungsrechts abzuschwächen und trotzdem dem Vorsorgeprinzip Rechnung zu tragen, indem die Unternehmen angeregt werden, entsprechendes Risiko- bzw. Vorsorgewissen zu generieren.

Die dezentrale Produktion von Risikowissen reicht als einziges Instrument zum Umgang mit unbekannt Risiken nicht aus. In vielen Fällen kann das entsprechende Wissen nicht auf dezentraler Ebene generiert werden, so daß öffentlich geförderte Forschung unverzichtbar ist. Aufgrund der Komplexität, die mit der Entdeckung, Erforschung und Bewertung global relevanter unbekannter Risiken verbunden ist, erweist sich eine ausschließlich disziplinär ausgerichtete Forschung als ungeeignet. Aus diesem Grund empfiehlt der Beirat, die Forschungslandschaft zum Globalen Wandel verstärkt interdisziplinär auszurichten, so wie er es in einem früheren Gutachten (WBGU, 1996b) in Form des Syndromansatzes bereits vorgeschlagen hat, denn nur mit syste-

mischem und vernetztem Denken können unbekannte Risiken durch Forschung entdeckt werden.

Für risikopolitische Strategien, die auf den Umgang mit dem komplexen Problem der Umweltrisiken aus Innovationsprozessen ausgerichtet sind, ist es nicht nur erforderlich, aktiv die Wissensproduktion anzuregen, sondern gleichsam auf – vor allen Dingen psychologisch zu analysierende – Faktoren zu achten, die für die Wissensproduktion hinderlich sein können bzw. die trotz Wissensgenerierung verhindern, daß das entsprechende Wissen auch bei Handlungsentscheidungen berücksichtigt wird (Kap. G 3). Hier wird insbesondere auf kognitive, motivationale und soziale Faktoren abgestellt, die sog. „Risikofallen“ bilden können. Solche Risikofallen, die hinsichtlich der Wissensproduktion hemmend und hinsichtlich der Entstehung neuer Risiken fördernd wirken können, sollten durch eingehende Untersuchungen vermieden werden.

Neben diesen psychologischen Faktoren sind weitere Tatbestände zu berücksichtigen, die allein durch Wissensproduktion nicht zu beseitigen sind. So ist ein gewisser Grad an Unwissenheit unvermeidlich, weil Wissensdefizite systemimmanent sein können. Es ist nicht möglich, alle Abläufe in komplexen, nichtlinearen Systemen soweit zu modellieren, daß sichere Informationen über die Systemprozesse bei Eingriffen von außen gewonnen werden können.

Vor diesem Hintergrund sind die Ausführungen in Kap. G 4 zu verstehen. Hier stehen Strategien zum Umgang mit unvermeidbaren Wissensdefiziten im Vordergrund, und es wird ein sog. systemares Risikomanagement skizziert, mit dem trotz unvermeidbarer Wissensdefizite unerwünschte Risiken möglichst weitgehend vermieden werden sollen. Grundaussage dieser Überlegungen ist es, daß es für eine Risiko-früherkennung unbedingt erforderlich ist, alle relevanten Systemebenen im Blick zu haben, um eine Vorstellung über die Komplexität der Problematik zu erhalten und somit mögliche Risikopotentiale erkennen zu können. Auf Basis einer solchen systemischen Früherkennung sind Resilienzstrategien zu entwickeln, die in Form von passiven (Fehlerfreundlichkeit von technischen Systemen) oder von aktiven Strategien (Risikomanagement) dafür sorgen, daß Systeme keine Zustände einnehmen, die nicht der gesellschaftlichen Risikopräferenz entsprechen.

Als Fazit kann festgehalten werden, daß unbekannten Risiken durch Innovationsprozesse zukünftig immer bedeutsamer werden. Sowohl für die Produktion von Risikowissen als auch für die Probleme und Lösungsansätze, die in den Kap. G 3 und G 4 beschrieben wurden, existieren nur sehr wenige theoretische Erkenntnisse und nur ein geringer Erfahrungsschatz in der Praxis. Der Beirat empfiehlt daher mit Nachdruck, diese Defizite abzubauen und die

Grundstruktur zum Umgang mit unbekanntem Risiken weiterzuentwickeln.

Empfehlungen

H

1.1 Konzepte der Risikoforschung

Die Weiterentwicklung von theoretischen Risikokonzepten, -modellen und -typologien wird für eine interdisziplinäre Risikoanalyse und -bewertung als notwendig erachtet, um Chancen und Risiken in immer komplexeren Gesellschaften zu erfassen. Damit wird die Ableitung rational nachvollziehbarer Strategien zur Bewältigung von Risiken möglich, die gerade für die Entwicklungs- und Technologiepolitik sowie den Katastrophenschutz von großer Bedeutung sind. Neben der naturwissenschaftlich-technischen Seite erhält die sozialwissenschaftliche Risikoforschung durch ihren interdisziplinären Zugang immer mehr Relevanz. Der Beirat empfiehlt daher, die Forschungskapazitäten im Bereich der naturwissenschaftlich-technischen und insbesondere im Bereich der sozialwissenschaftlichen Risikoforschung weiter zu intensivieren und auszubauen.

1.2 Technologierisiken

Ein wesentlicher Grundsatz der Forschung zur Reduzierung und Beherrschung technischer Risiken besteht in der Ausweitung der Themen über die rein technische Optimierung der Sicherheit hinaus. Eine integrative Risikoforschung zu technologischen Risiken sollte:

- den institutionellen, politischen und sozialen Kontext mit berücksichtigen, in dem die jeweilige Technik eingebunden ist,
- die jeweilige organisatorische Struktur sowie die Sicherheitskultur im Rahmen der Organisationen, die riskante Techniken entwickeln, betreiben und überwachen, mit in die Forschungsthemen aufnehmen, sowie
- die Reaktionsweisen von Individuen und Gruppen in ihren psychologischen, sozialen, institutionellen und kulturellen Handlungsspielräumen und Begrenzungen erkunden und in die jeweiligen

Risikoanalysen einbeziehen.

Gefragt sind also interdisziplinäre oder sogar transdisziplinäre Forschungsvorhaben, die Wissens Elemente über technische Risikofaktoren mit Erkenntnissen aus der Erforschung des Mensch-Maschine-Verhältnisses, der Organisationskultur sowie der institutionellen, sozialen und kulturellen Kontextbedingungen verknüpfen. Ziel dieser Forschungsvorhaben sollte es sein, die technische Entwicklung in eine Richtung voranzubringen, die das Risikopotential möglichst minimiert und gleichzeitig den jeweiligen Bedingungen im Kontext der Entwicklung, Anwendung und Kontrolle angepaßt ist. Dazu können die Kriterien, die in Kap. G zur vorsorgenden Risikoreduktion beschrieben worden sind, als Leitbilder für Technik- und Organisationsentwicklung dienen. Um Kriterien wie Diversität, Resilienz und Robustheit bei der Entwicklung von Technik besser zu berücksichtigen, ist einerseits Grundlagenforschung im Grenzbereich von technischen und sozialen Systemen notwendig, andererseits eine bereichsübergreifende angewandte Forschung förderungswürdig, die bis zu einer konkreten Parallelentwicklung von technischen und organisatorischen Systemen reichen sollte.

Im Rahmen des Globalen Wandels sind 2 Arten von Technologien zu unterscheiden. Beim ersten Typ (deckungsgleich mit dem Damokles-Risikotyp) sind die Komponenten des Risikos weitestgehend bekannt. Sorge bereiten diese Technologien wegen ihres großen Katastrophenpotentials. Für diese Technologien, für die kerntechnische Anlagen als Paradebeispiel dienen, sind Forschungsanstrengungen auf 2 Felder zu konzentrieren: Zum einen geht es um die Erforschung von alternativen Technologieentwürfen, bei denen das Katastrophenpotential merklich verringert werden kann. Zum anderen geht es um die weitere Erforschung des Interaktionsfelds Technik, Steuerung und soziales Umfeld. Ziel dieser Forschungsanstrengungen sollte die Verbesserung der Resilienz technischer Systeme sein.

Die zweite Art von Technologien, die globale Risiken mit sich bringen können, ist durch Ungewißheit über Folgen und/oder Eintrittswahrscheinlichkeiten

geprägt. Technologien diesen Typs fallen unter die Risikokategorien Zyklon, Pythia oder Pandora. Für diese Technologien gilt an erster Stelle die Verpflichtung, Forschung zur Verringerung von Ungewißheiten zu betreiben. Als erstes ist eine Überführung von Ungewißheiten in statistisch faßbare Unsicherheiten notwendig, ehe man gezielt die Bandbreite der Unsicherheiten weiter reduziert. Dazu ist zum einen Grundlagenforschung über die mathematische und statistische Erfassung von Unsicherheiten erforderlich, zum anderen die Erforschung von Methoden notwendig, um in bestimmten Risikobereichen gezieltere empirische Erfahrungen zu sammeln, auszuwerten und für die Risikoprognose zu verwenden. Schließlich sind ähnlich wie bei den Technologien mit hohem Katastrophenpotential Forschungsvorhaben gefragt, die bei verbleibender Unsicherheit oder sogar Ungewißheit eine resiliente Form des Risikomanagements ermöglichen.

Die Erforschung technischer Risiken erfordert eine enge Zusammenarbeit von Ingenieuren, Naturwissenschaftlern und Sozialwissenschaftlern. Dies ist leichter gesagt als in der Praxis realisierbar. Der Beirat ist auf die Möglichkeiten, Probleme und Problemlösungen bei der Kooperation zwischen den Wissenschaften im Jahresgutachten 1996 ausführlich eingegangen (WBGU, 1996b). Die dort entwickelten Vorschläge sollten v. a. bei der Erforschung technologischer Risiken umgesetzt werden.

1.3

Gesundheitsrisiken durch Seuchen

Risiken durch gesundheitsschädigende Erreger und durch anthropogen freigesetzte Stoffe mit endokrinologischer oder genotoxischer Wirkung beinhalten teilweise noch völlig oder weitgehend unbekannte Schadenspotentiale. Eine breite und unabhängige Grundlagenforschung hat zum einen die Aufgabe, das Wissen zu generieren und bereitzustellen, mit dem im Bedarfsfall zügig neue Instrumente für Analysen und darauf aufbauend für das Management neu auftretender Probleme konstruiert werden können. Zum anderen muß zielgerichtete angewandte Forschung die Interaktionen von Erregern, Umwelt und infizierten Organismen sowie auch die Wirkungen von chemischen, z. B. endokrin wirksamen Substanzen in den unterschiedlichen biologischen Systemen aufklären, auch wenn es sich um sehr komplexe Fragestellungen handelt. Am Beispiel der Risikobewertung neu in die Umwelt freigesetzter Stoffe wird deutlich, daß eine stärkere Vernetzung der Grundlagenforschung gefordert werden muß, weil solche Substanzen auf allen Systemebenen (z. B. Boden,

Wasser, Klima, Biosphäre) Auswirkungen haben können.

- Zur Prävention in den Bereichen Seuchen und endokrin wirksame Stoffe sind eine *hochqualifizierte Toxikologie und Epidemiologie*, die modernste biologische, chemische und molekularbiologische Verfahren einsetzen, zu fördern.
- In der *Infektionsbiologie* ist die Aufklärung des Austausches genetischen Materials zwischen den Organismen einschließlich der Resistenzentwicklung von Erregern notwendig. Infektionsmechanismen, Erregerausbreitung und Immunantworten als Voraussetzung für die Entwicklung neuer Impfstoffe sollten bevorzugt erforscht werden.
- Weil *endokrin wirksame Substanzen* auf mehreren Systemebenen wirksam sind und möglicherweise Kombinationseffekte, ganz sicher aber differenzierungsabhängige Effekte große Bedeutung haben, versagen z. T. die klassischen Labormethoden. Die Enzymwirkung hormonell aktiver Substanzen, ihre Pharmakokinetik und -dynamik, ihre Bioverfügbarkeit und ihr Akkumulationspotential müssen daher einzeln untersucht werden, da Vereinfachungen und Analogieschlüsse aufgrund komplexer molekularer Effekte und Steuerungsmechanismen kaum möglich sind. Ausreichende Meßparameter für die Wirkung der Substanzen in den unterschiedlichen Entwicklungsstadien des Menschen liegen entweder nicht vor oder müssen verbessert werden. Untersuchungen nach einer bekannt gewordenen Exposition (wie z. B. in Seveso) sollten sich v. a. auf die feststellbaren Hormonwirkungen sowie die kreberzeugenden und das Nervensystem schädigenden Wirkungen konzentrieren.

1.4

Biologische Risiken

Die Diskussion biologischer Risiken hat gezeigt, daß aufgrund unzureichenden Wissens eine Abschätzung der Risiken mit großen Unsicherheiten behaftet ist. Nur eine langfristig angelegte und ökosystemorientierte Grundlagenforschung, die in den derzeitigen Zeitrahmen von Projektförderungen häufig nicht möglich ist, kann die bestehenden Wissenslücken schließen und den Anforderungen einer Risikoabschätzung gerecht werden. Folgende Forschungsschwerpunkte sollten hier gesetzt werden:

- *Verstärkte Grundlagenforschung* auf den Gebieten der Bodenbiologie, der Ökosystemtheorie (Stabilitätskriterien), der Quantifizierung von Ökosystemprozessen in Abhängigkeit von der Biodiversität und der Populationsbiologie.
- Intensivierung der angewandten Forschung im

Bereich des *Pflanzenbaus* auf Grenzstandorten, der Phytopathologie sowie der Bewertung von Hochleistungsorten und transgenen Kulturpflanzen unter besonderer Berücksichtigung der Sicherung der Nahrungsmittelproduktion unter veränderten Klimabedingungen (zunehmende Klimavariabilität und -extreme).

- Quantifizierung der *Funktionen der Biodiversität* sowie der ökologischen und ökonomischen Schäden infolge des Verlusts dieser Funktionen durch Klimawandel, Landnutzungsänderungen oder Bewirtschaftung.
- Untersuchungen zur Zunahme der *Fitneß nicht-heimischer Arten* durch Ausbreitung über isolierte Populationen.
- Verbesserung und Ausweitung einer ökologisch orientierten und langfristig angelegten *Begleit- und Sicherheitsforschung bei der Freisetzung transgener Organismen*. Hierzu gehören u. a. die weitere Aufklärung und Quantifizierung des Austausches genetischer Informationen zwischen Organismen sowie eine intensivere Forschung auf dem Gebiet der Phytopathologie. Bei Inverkehrbringen der transgenen Pflanzen sollte die Forschung zudem durch ein langfristiges und ökosystemorientiertes *Nachzulassungsmonitoring* ergänzt werden.
- Methoden für eine vollständige *monetäre Bewertung ökologischer Schäden*, die sich einer Marktbewertung entziehen, sollten fortentwickelt werden, insbesondere bei Verlust von Biodiversität.

1.5 Stoffrisiken

Das Wissen über mögliche Risiken einer stofflichen Mehrfachbelastung von Ökosystemen ist noch eng begrenzt. Insbesondere die Quantifizierung der Einflüsse von Störungen durch den Menschen muß als unzureichend bewertet werden. Die Risikoabschätzung wird zudem durch Einträge neuer Substanzen, deren Auswirkungen auf die einzelnen Kompartimente in Ökosystemen noch gänzlich unbekannt sind, erschwert. Für eine verbesserte Bewertung stofflicher Risiken sind weitere Forschungsanstrengungen notwendig:

- Verbesserte Quantifizierung der ökosystemaren Folgen einer stofflichen Mehrfachbelastung, inklusive der trockenen Stickstoffdepositionen und der gasförmigen Stickstoffaufnahme durch die Pflanzen, sowie die Bestimmung kritischer Grenzen dieser Belastung (Leitplanken).
- Weitere Forschungen zur Dynamik und Vorhersagbarkeit des Austrags von Nitrat in das Grundwasser.

- Erstellung vollständiger Kohlenstoffbilanzen für alle Ökosysteme und Länder sowie für verschiedene Bewirtschaftungsformen. Insbesondere der Bodenkohlenstoff und langfristige Effekte der Bewirtschaftung sollten hier stärker als bisher berücksichtigt werden.
- Quantifizierung der Interaktionen von Kohlenstoff- und Stickstoffhaushalt der unterschiedlichen Vegetationstypen, einschließlich der Wirkungen auf die Biodiversität. Modelle bilden hier ein wichtiges Instrument, sollten jedoch durch experimentelle Daten weiter ergänzt werden.
- Verbesserung der Vorhersagbarkeit und Quantifizierung der Wechselwirkungen von Maßnahmen zum Klimaschutz mit dem Ziel der Erhaltung biologischer Vielfalt. Hier muß insbesondere die Rolle von natürlichen bzw. naturnahen Vegetationen im Klimaschutz unter Einbeziehung der Böden Gegenstand weiterer Forschungen sein.
- Verstärkung des Augenmerks auf Stoffimporte durch den internationalen Handel sowie deren sekundäre Folgen. Hier besteht Nachholbedarf, insbesondere im Bereich des Kohlen- und Stickstoffhaushalts.

1.6 Klimarisiken

Die Erforschung der Wirkung erhöhter Konzentrationen von Treibhausgasen und Aerosolen auf das globale Klima muß nach wie vor hohe Priorität besitzen. Hierbei ist zu bedenken, daß sich bei näherer Analyse eine Reihe von neuartigen Risiken als größer als vermutet herausgestellt haben (Instabilitäten im gekoppelten Ozean-Atmosphäre-Vegetationssystem, Synergien zwischen natürlicher und anthropogener Klimavariabilität, nichtlineare Antworten auf Störungen des Wasserkreislaufs usw.). Im einzelnen sind in diesem Kontext folgende Forschungsschwerpunkte zu setzen:

- Weitere Forschung über die natürliche Klimavariabilität auf der Grundlage verbesserter regionaler Klimavorhersagen.
- Verbesserung des Klimasystemverständnisses durch Analyse der Wechselwirkungen zwischen den Teilsystemen („Erdsystemanalyse“).
- Exploration von geophysikalischen Ereignissen vom Risikotyp Damokles „Low Probability – High Consequence“, wie z. B. die Destabilisierung des westantarktischen Eisschildes.
- Untersuchung der sozialen Verwundbarkeit gegenüber Klimaveränderungen und ihren Folgen für den Globalen Wandel (Ernährung, Gesundheit usw.).

1.7

Naturkatastrophen

Am wirkungsvollsten lassen sich die Risiken durch Naturkatastrophen vermindern, wenn möglichst langfristige Prognosen vorliegen, aufgrund derer eine Strategie zur Verringerung der Exposition bzw. Vulnerabilität gefährdeter Gebiete erarbeitet werden kann. Im einzelnen empfiehlt der Beirat:

- *Extremwetterlagen:* Es sollte verstärkt untersucht werden, ob durch den globalen Klimawandel Extremwetterlagen (Starkniederschläge, Stürme, Überschwemmungen und Dürren) bereits zugenommen haben. Grundlage dafür könnte die Auswertung langfristiger statistischer Daten zum Wetterablauf sein.
- *Erdbeben:* Erdbebengefährdete Gebiete sollten durch erdgebundene und satellitengestützte Verfahren (z. B. Deformationsmessungen, geologisch-tektonische Strukturuntersuchungen) kontinuierlich überwacht werden. Basierend auf diesen Ergebnissen sollte die Entwicklung von zuverlässigeren Erdbebenfrühwarnsystemen, auf der Grundlage von seismischen Meßstationen, vorangetrieben werden.
- *Vulkaneruptionen:* Vulkanologische Untersuchungen sollten mit dem Ziel der Entwicklung deterministischer Prognosen für Vulkaneruptionen intensiviert werden. Dabei sollten auf Vulkanen mit besonders hohem Gefährdungspotential automatische Meßstationen installiert werden.
- *Meteoriteneinschläge:* Der Beirat empfiehlt die Entwicklung eines international koordinierten Asteroidenfrühwarnsystems unter Nutzung bereits existierender Beobachtungsprogramme. Diese sollten auf Methoden der klassischen optischen Astronomie sowie auf Radarmessungen basieren. Zusätzlich müssen, neben der Etablierung einer Asteroidendatenbank, automatisierte Beobachtungsverfahren entwickelt werden.

1.8

Risikoverstärker und -abschwächer

Im Gutachten ist hinlänglich deutlich geworden, daß die Verursacher von Risiken, seien es natürliche Faktoren, Techniken, Kulturgewohnheiten oder Mensch-Umwelt-Interaktionen, die Höhe des Risikos nur z. T. bestimmen. Ob und in welchem Ausmaß ein Schadenspotential wirksam wird, hängt weitgehend von den sozialen, institutionellen und kulturellen Faktoren ab, in denen das jeweilige Risiko eingebettet ist. Viele Risiken, die in Industrieländern nur ein geringes Zerstörungspotential aufweisen, können in Ge-

bieten mit hoher Verwundbarkeit große Schäden auslösen.

Da die Variationsbreite des Schadensausmaßes bei identischen Risiken je nach geografischer Lage und sozialer Situation stark streut, kommt der Erforschung der Kontextbedingungen für Risikomodulation besondere Bedeutung zu. Darunter fallen nicht nur die bei den Forschungsempfehlungen zu technischen Risiken erwähnten organisatorischen und institutionellen Rahmenbedingungen, sondern auch die in einer Gesellschaft vorhandenen materiellen, sozialen und kulturellen Ressourcen zum Umgang mit Risiken. In armen Gesellschaften wirken sich Risiken ganz anders aus als in einer Gesellschaft, deren Mitglieder über eine breite Ressourcenbasis verfügen und diese auch aktiv im Schadensfall einsetzen. Welche Faktoren aber Vulnerabilität gegenüber Risiken verstärken und abschwächen, ist heute nur in Umrissen bekannt. Hier sollten gezielte Forschungsanstrengungen ansetzen, da es in vielen Fällen (z. B. bei Naturrisiken) einfacher ist, die Kontextbedingungen zu beeinflussen als das Risiko selbst.

Für die Erforschung der Risikomodulatoren sind v. a. die Sozial- und Geisteswissenschaften gefragt. Historische Traditionen sind als Elemente des risikomoderierenden Kontexts ebenso von Bedeutung wie soziale Bindungen, institutionelle Arrangements, Weltanschauungen und religiös geprägte Verhaltensmuster. Auch Fragen der ökonomischen Ressourcenlage, der Verteilung von Einkommen und Lebenschancen sind im Rahmen von Studien zur Verwundbarkeit und Risikomodulation zu bearbeiten. Im einzelnen empfiehlt der Beirat:

- Die Erarbeitung eines Indikatorensystems für regionale und sozialgruppenspezifische Risikoanfälligkeit, das zwischen Individuen, Haushalten und sozialen Gruppen unterscheidet, ist für das bessere Verständnis risikoverstärkender Faktoren grundlegend.
- Die systematische Kartierung von Risiken auf unterschiedlichen Maßstabsebenen, die die Verwundbarkeit verschiedener sozialer Gruppen gegenüber Risiken des Globalen Wandels zeigt, ist eine wichtige Unterstützung für die Entwicklungszusammenarbeit und die Katastrophenhilfe.
- Um bestehende Analysen zu verbessern, müssen die Ansätze und Theorien zur Erklärung von Risikoanfälligkeit weiterentwickelt werden. Dazu ist eine konsistentere Verknüpfung der externen und internen Risikofaktoren von Überlebenssicherung erforderlich.
- Trotz der bereits geleisteten Arbeiten in der Erdsystemforschung, wie etwa der Entwicklung eines Süßwasserkritikalitätsindex durch den Beirat (WBGU, 1998a), steht eine globale Übersicht zur Umweltkritikalität noch aus.

1.9

Risiken der Ernährungssicherheit

Die Risiken der Welternährung zählen zu den Risiken, die durch schrittweise wissenschaftliche Analysen eine beständige politische Neubewertung erfordern, da hier die Unwägbarkeiten und Schadensausmaße besonders hoch sein können. Die Diskussion von Risiken der Welternährung hat gezeigt, daß die Unsicherheiten zur Abschätzung der Nahrungssicherheit insbesondere durch das Zusammenwirken zahlreicher Kernprobleme des Globalen Wandels eine neue Qualität erreicht haben.

- Aufgrund der systemaren Verflechtungen zwischen einzelnen Kernproblemen besteht großer und voraussichtlich langfristiger Forschungsbedarf, um die Dynamik von Nahrungssicherheit und Globalem Wandel besser zu verstehen.
- Besonderes Augenmerk ist auf mögliche großflächige Ernteausfälle zu richten. Insbesondere sollten bei einer drohenden dauerhaften Schädigung der natürlichen Ressourcen, beispielsweise durch Klimawandel oder Bodendegradation, die Möglichkeiten der Früherkennung, Vorbeugung oder Substituierung untersucht werden.

1.10

Risikopotentiale komplexer Umweltsysteme

Die methodischen Grundlagen für die Analyse komplexer Umweltsysteme müssen dringend ausgebaut werden. Vor allem gilt es, die Forschung zur Entscheidungs- und Steuerungstheorie komplexer nichtlinearer Systeme bei unvollständiger Information voranzutreiben. Hierbei handelt es sich um ein anspruchsvolles und modernes wissenschaftliches Gebiet, dessen Etablierung ohne die jüngsten Erkenntnisfortschritte in Mathematik, Physik und Informatik unmöglich gewesen wäre. Für den Kontext globaler Umweltrisiken empfiehlt der Beirat:

- Weiterentwicklung der Computersimulationen von Umweltsystemen zur Exploration virtueller Desaster.
- Vertiefung der Bayes-Analyse zur Nutzung von Expertenwissen für die Einschätzung von Umweltrisiken, etwa im Klimabereich.
- Verbesserung der Methoden von Fuzzy Systems Analysis und Fuzzy Control zur Überwindung kognitiver Defizite in der Umweltbewertung und -politik.
- Untersuchung der Stabilität sozialer Systeme gegenüber Umweltschocks auf systemanalytischer Grundlage.
- Fortentwicklung des Syndromansatzes unter dem

Gesichtspunkt kontexttypischer Produktion von Umweltrisiken.

1.11

Risikopolitik

Der Beirat vertritt die Ansicht, daß die privatrechtliche Haftung unter den umweltpolitischen Instrumenten besondere Anreize zur Wissensproduktion aufweist und deshalb vorrangig, wenn auch nicht ausschließlich, bei der Bewältigung von unbekanntem und unzureichend erforschten Risiken zum Tragen kommen sollte (Kap. H 1.12). Die sachgerechte Ausgestaltung und praxisgerechte Implementierung nationaler und internationaler Haftungsnormen sollten dabei auch verstärkt interdisziplinär erforscht werden, um die – berechtigterweise – unterschiedlich gewichteten Forderungen der verschiedenen Disziplinen mit dem Instrument der Haftung in Einklang zu bringen. Der Beirat sieht insbesondere folgenden Forschungsbedarf:

- Erste Bemühungen zur Erfassung von „ökologischen Schäden“ als Rechtsgutsverletzungen und Schadenskategorien wurden bereits unternommen. Es gilt, diese Untersuchungen stärker interdisziplinär zu verankern.
- Die Rolle von haftungsrechtlichen Ausgestaltungen, wie z. B. Haftungsobergrenzen als adäquate Mittel zur Verhinderung von Innovationshemmungen durch die Haftungsdrohung, sollte ausführlich untersucht werden.
- Außer in einigen Bereichen (z. B. Öltankerunfälle) sind globale Haftungsregime zumeist auch mittelfristig noch nicht realisierbar. Um so mehr sollte das Bemühen der Haager Konferenz, ein international konsensfähiges *Kollisionsrechtsübereinkommen* zur Umwelthaftung zu entwickeln, intensiv durch Forschungsbemühungen unterstützt werden.
- Neben der Erarbeitung von Kollisionsvorschriften besteht internationaler Forschungsbedarf für die Frage, wie trotz nationaler institutioneller Unterschiede (u. a. nationales Prozeßrecht, Gerichtsorganisation, Bewertung immaterieller Schäden, Anwaltshonorare) eine einheitliche Umsetzung international verhandelter Haftungsvorschriften gewährleistet werden kann.

1.12

Strategien zum Umgang mit unbekanntem Risiken

Im Hinblick auf die hohe Geschwindigkeit der technologischen Entwicklung gewinnen unbekanntem Risiken zunehmend an Bedeutung. Mit zunehmender

Innovationsdynamik steigt die Anzahl der Risiken, die mit technischen Neuentwicklungen verbunden sind, ohne daß bereits durch Schadensfälle Erfahrungswissen über diese neuen Risiken vorliegt. In vielen Fällen sollen aufgrund eines hohen Schadenspotentials Fehler vermieden werden, aus denen man nicht lernen kann. Zentrale Forschungsempfehlung für den Umgang mit unbekanntem Risiken ist die Untersuchung der Wirkungen institutioneller Regelungen auf die 3 zentralen Aufgaben eines voraussehenden, auf Vermeidung gerichteten Risikomanagements: Produktion, Diffusion und Nutzung von Risikowissen. Zugleich sind aber auch die „kognitiven Risikofallen“ zu beachten, und es bedarf der Entwicklung eines präventiven Risikomanagements für komplexe Umweltsysteme.

- Das Haftungsrecht weist von allen umweltpolitischen Instrumenten die stärksten wissensproduzierenden Wirkungen auf und bildet deshalb den umfassenden institutionellen Rahmen für den Umgang mit unbekanntem Risiken. Aus der Bedeutung des Haftungsrechts ergeben sich 2 wichtige Forschungsfelder:
 1. Untersuchung des Zusammenhangs zwischen haftungsrechtlichen Regelungen und Innovationsanreizen.
 2. Analyse von Möglichkeiten, ein zunächst strenges haftungsrechtliches Regime durch das Erbringen des Nachweises der Ungefährlichkeit bzw. Beherrschbarkeit etwaiger Innovationsrisiken zu lockern, also durch die Produktion und Offenlegung von Risikowissen.
- Der Syndromansatz hat sich in vielen Bereichen der Erforschung des Globalen Wandels bewährt. Eine Weiterentwicklung des Ansatzes ist auch im Hinblick auf die Entdeckung unbekannter Risiken sehr zu befürworten. Ein verstärkter Forschungsbedarf wird insbesondere in der Modellierung von Syndromen gesehen, um zum einen die Komplexität globaler Umweltrisiken anschaulich im Zeitablauf darzustellen und zum anderen Hinweise auf die Entstehung neuer Risiken zu erhalten.
- Für die Entdeckung unbekannter Risiken ist die Grundlagenforschung zum Verständnis und zur Steuerung komplexer nichtlinearer Systeme weiter voranzutreiben.
- Es fehlen systematische Untersuchungen lokaler bzw. regionaler Entscheidungsprozesse, die global riskante (Neben-)Wirkungen für die Umwelt und die menschliche Gesellschaft haben können.
- Der potentiell globale Charakter unbekannter Risiken erfordert eine nationale und internationale Institutionalisierung einer vorausschauenden Technik- und Risikobewertung („Frühwarnsystem“; s. Kap. H 2.2.3). Inwieweit die im Gutach-

ten entwickelten allgemeinen Strategien (Agensmanagement, Reagensmanagement, kombiniertes Management) hierzu einen Beitrag leisten können, bedarf einer intensiveren Erforschung.

2.1 Handlungsempfehlungen für die Risikoreduktion nach Risikotypen

Die 6 vom Beirat vorgeschlagenen Risikotypen verlangen nach spezifischen Strategien. Die dazugehörigen Instrumente werden hier zusammenfassend vorgestellt und in einem Entscheidungsbaum abgebildet (Abb. H 2.1-1). Daneben gibt der Beirat zentrale Empfehlungen für die klassischen Handlungsfelder der Risikopolitik (Kap. H 2.2). Das Ziel der Strategien für die Risikotypen ist es, diese aus dem Verbots- oder Grenzbereich in den Normalbereich zu überführen (Kap. A 4). Es geht also nicht um Reduzierung von Risiken bis zum Nullpunkt, sondern um eine Reduzierung in den Bereich hinein, der ein routinemäßiges Management erlaubt. Sowohl die Strategien als auch die Instrumente bzw. Maßnahmen sind nach Prioritäten geordnet. Natürlich sind im Normalfall mehr als eine Strategie und mehr als ein Instrument erforderlich. Wenn es aber um eine begrenzte Auswahl geht, sollten vorrangig die an oberster Stelle genannten Einträge berücksichtigt werden.

Strategien für den Risikotyp Damokles
Für Risiken vom Typ Damokles werden vom Beirat 3 zentrale Strategien empfohlen: zunächst durch Forschung und technische Maßnahmen das Katastrophenpotential reduzieren, dann als zweites die Resilienz, d. h. die Robustheit des Systems gegen Überraschungen, stärken und schließlich ein effektives Katastrophenmanagement sicherstellen (Tab. H 2.1-1).

Im Rahmen der ersten Strategie, das Schadenspotential zu senken und dem Schadenseintritt vorzubeugen, geht es um die Verbesserung technischer Maßnahmen zur Reduzierung des Katastrophenpotentials und um die Erforschung und Durchführung von Maßnahmen zur Verringerung der Schadensausbreitung. Beispielsweise war die bei der Kernenergie in der Vergangenheit vorrangig umgesetzte Strategie, die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Kernschmelze durch technische Maßnahmen weiter zu reduzieren,

zu wenig zielführend, um dieses Risiko aus dem Grenzbereich in den Normalbereich zu überführen. Sinnvoller wäre dagegen eine konstruktive Veränderung in Richtung auf Reduzierung des Katastrophenpotentials gewesen (wie dies inzwischen ja auch geschieht). Ebenfalls empfiehlt der Beirat die Einführung bzw. Stärkung von Haftungsregeln, die zur Verbesserung des Wissens und zur Reduzierung der Restrisiken anregen. Zugleich ist es notwendig, Alternativen für Technologien mit unvermeidbar hohem Katastrophenpotential zu erforschen und zu entwickeln, deren Schadenspotential wesentlich geringer ist. Dafür können unter bestimmten Umständen in der Einführungs- und Erprobungsphase Subventionen erforderlich sein.

Die zweite Strategie zielt darauf, die Resilienz gegenüber den Risikopotentialen zu erhöhen. Dafür müssen übergeordnete institutionelle und organisatorische Strukturen, die Einfluß auf Genehmigungsverfahren, Überwachung, Ausbildung usw. nehmen, gestärkt werden. Gleichzeitig können haftungsrechtliche Regelungen einen vorsichtigen Umgang mit diesen Risiken fördern. Daneben müssen technische Verfahren zur Erhöhung der Resilienz eingeführt oder verbessert werden. Das gelingt u. a. durch redundante Auslegung von Technik und sicherheitsrelevanten Organisationseinheiten, durch die Einbindung von Spielräumen, Puffern und Elastizität (fehlerfreundliche Systeme) und durch Diversifizierung, d. h. Streuung von Risikopotentialen bzw. -quellen. In Form von Technologie- und Wissenstransfers sollten die als resilient betrachteten Organisationsformen und bewährte Genehmigungsverfahren als Vorlage bzw. Vorbild für andere Staaten zur Verfügung gestellt werden. Außerdem sollten die internationale Kontrolle und Überwachung gestärkt sowie ein „internationaler TÜV“ eingeführt werden.

Die letzte Priorität bei den Handlungsstrategien nimmt das Katastrophenmanagement ein, wobei diese Strategie nicht als unbedeutend eingeschätzt wird, jedoch als nachsorgende Strategie zur Schadensbegrenzung hinter den risikoreduzierenden Startegien zurückbleiben sollte. Hier gilt es auch wieder, persönliche und institutionelle Kapazitäten weiter zu

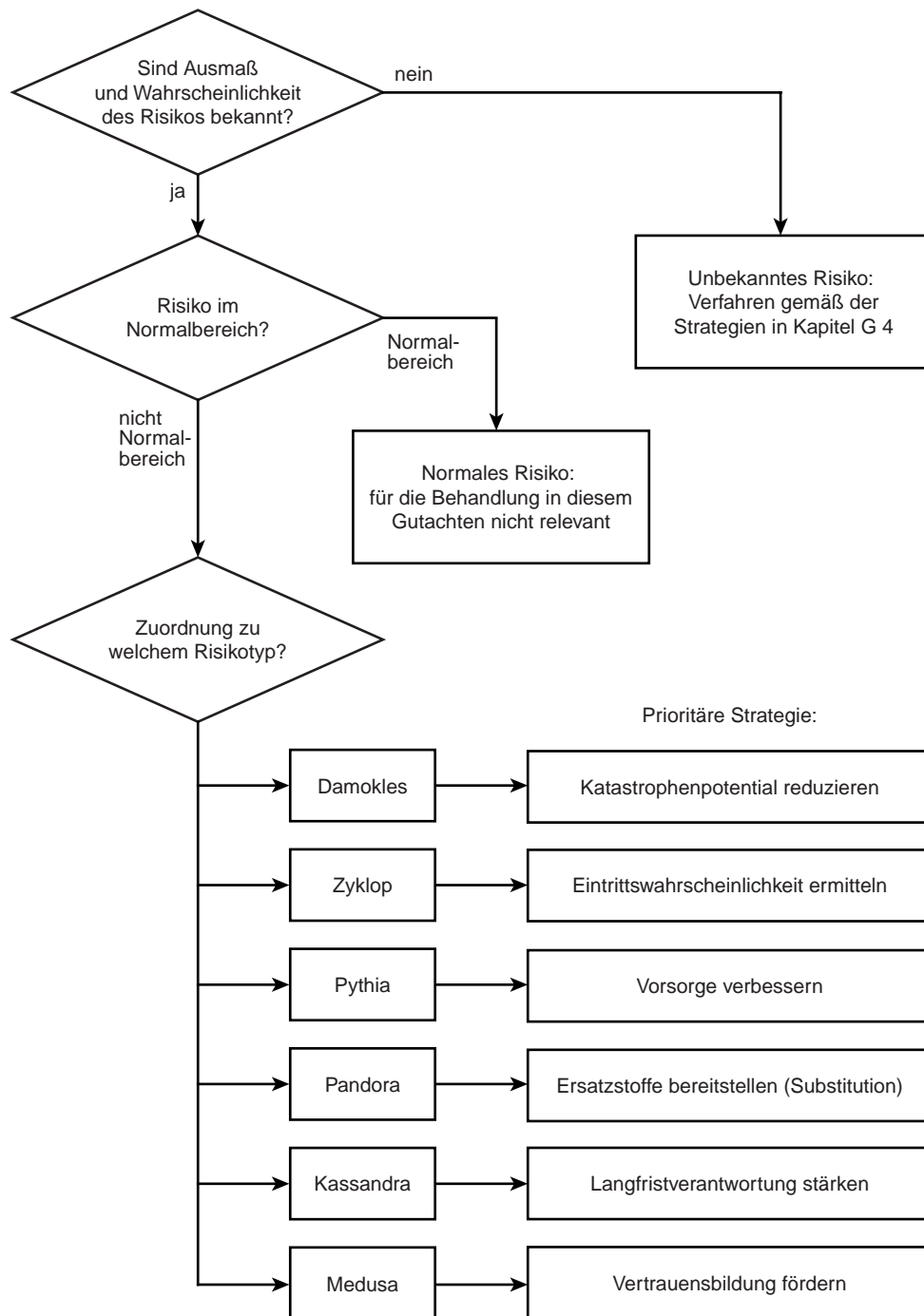


Abbildung H 2.1-1
 Entscheidungsbaum zur Klassifizierung von Risiken des Globalen Wandels.
 Quelle: WBGU

stärken, indem nationale Notfallschutzprogramme entwickelt und gefördert werden. Durch Technologie- und Wissenstransfers können die in vielen Industrieländern bewährten Notfallschutzmaßnahmen und -techniken in Form von Ausbildung, Bildung und

Empowerment an die lokal wirkenden Risikomanager weitergegeben werden. Schließlich ist eine internationale vorbeugende Katastrophenhilfe, wie sie im Rahmen der von der UNO initiierten Internationalen Dekade für die Verringerung von Naturkatastro-

Tabelle H 2.1-1
Strategien und Instrumente für den Risikotyp Damokles. Das Hauptproblem bei diesem Risikotyp ist das hohe Katastrophenpotential. Quelle: WBGU

Strategien	Instrumente
1. Katastrophenpotential reduzieren	<ul style="list-style-type: none"> • Forschung zur Entwicklung von Substituten und zur Verringerung des Katastrophenpotentials • Technische Maßnahmen zur Verringerung des Katastrophenpotentials • Stringente Haftungsregeln • Internationaler TÜV • Subvention von nutzengleichen Alternativen • Begrenzung (Reduzierung der Schadensausbreitung) • Internationale Koordination (etwa zur Abwendung der Gefahr durch Meteoriten)
2. Resilienz erhöhen	<ul style="list-style-type: none"> • Stärkung der persönlichen und institutionellen Kapazitäten (Genehmigung, Überwachung, Ausbildung usw.) • Internationale Haftungsverpflichtung • Ausbau technischer Verfahren der Resilienz (Redundanz, Diversifizierung usw.) • Blueprint für resiliente Organisationen • Vorbildfunktion: Genehmigungsverfahren • Internationale Kontrolle (IAEO)
3. Katastrophenmanagement sicherstellen	<ul style="list-style-type: none"> • Stärkung der persönlichen und institutionellen Kapazitäten (Notfallschutz) • Ausbildung, Bildung, Empowerment • Technische Schutzmaßnahmen, inklusive Containment-Strategien • Internationale Hilfsgruppen (z. B. Feuerwehr, Strahlenschutz usw.)

phen (International Decade for Natural Disaster Reduction, IDNDR) angestrebt wird, auch für anthropogen verursachte Katastrophen erforderlich.

Strategien für den Risikotyp Zyklon
Unter den Maßnahmen und Instrumenten für den Risikotyp Zyklon nimmt die Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit oberste Priorität ein, wozu

die dafür notwendige Forschung gefördert werden sollte (Tab. H 2.1-2). Zudem gilt es, ein internationales Monitoring durch nationale und internationale Risikozentren zu gewährleisten. Dabei setzt der Beirat v. a. auf die Einrichtung eines UN Risk Assessment Panels, dessen Aufgabe darin besteht, die nationalen Risikozentren miteinander zu vernetzen und Erkenntnisse über globale Risiken zu sammeln und

Tabelle H 2.1-2
Strategien und Instrumente für den Risikotyp Zyklon. Das Hauptproblem bei diesem Risikotyp ist die Ungewißheit bei der Eintrittswahrscheinlichkeit. Quelle: WBGU

Strategien	Instrumente
1. Eintrittswahrscheinlichkeit (<i>W</i>) ermitteln	<ul style="list-style-type: none"> • Forschung zur Ermittlung von <i>W</i> • Internationales Monitoring durch <ul style="list-style-type: none"> – Nationale Risikozentren – Institutionelle Vernetzung – Internationales „Risk Assessment Panel“ • Technische Maßnahmen zur Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeiten
2. Gegen Überraschungen vorbeugen	<ul style="list-style-type: none"> • Gefährdungshaftung • Versicherungspflicht für Risikoerzeuger (z. B. Überschwemmungen, Siedlungen) • Stärkung der Kapazitäten (Genehmigung, Überwachung, Ausbildung usw.) • Technische Maßnahmen • Internationale Überwachung
3. Katastrophenmanagement sicherstellen bzw. Schadensausmaß reduzieren	<ul style="list-style-type: none"> • Stärkung der persönlichen und institutionellen Kapazitäten (Notfallschutz) • Ausbildung, Bildung, Empowerment • Technische Schutzmaßnahmen, inklusive Begrenzungsstrategien • Internationale Hilfsgruppen (z. B. Feuerwehr, Strahlenschutz usw.)

Strategien	Instrumente
1. Vorsorge verbessern und Auswirkungen begrenzen	<ul style="list-style-type: none"> • Institutionelle Vorsorgeregeln wie ALARA, BACT, Stand der Technik usw. • Fondslösung • Begrenzung (Reduzierung der Schadensausbreitung) • Internationale Konventionen zu Überwachung, Monitoring und Sicherheitsvorkehrungen • Stärkung der persönlichen und institutionellen Kapazitäten (Genehmigung, Überwachung, Ausbildung usw.) • Technische Verfahren der Resilienz (Redundanz, Diversifizierung usw.)
2. Wissen verbessern	<ul style="list-style-type: none"> • Forschung zur Ermittlung von <i>W</i> und <i>A</i> • Internationales Frühwarnsystem durch: <ul style="list-style-type: none"> – Nationale Risikozentren – Institutionelle Vernetzung – Internationales „Risk Assessment Panel“ • Staatliche Forschungsförderung (Grundlagen)
3. Effektives Schadensmanagement sicherstellen	<ul style="list-style-type: none"> • Begrenzungsstrategien für Katastrophenausbreitung • Stärkung der persönlichen und institutionellen Kapazitäten (Notfallschutz) • Ausbildung, Bildung, Empowerment • Technische Schutzmaßnahmen • Internationale Eingreiftruppen (z. B. für Dekontaminierung)

Tabelle H 2.1-3

Strategien und Instrumente für den Risikotyp Pythia. Das Hauptproblem bei diesem Risikotyp ist die geringe Abschätzungssicherheit gepaart mit plausiblen Szenarien für hohe Schadenspotentiale. Quelle: WBGU

auszuwerten. Aufgaben, Struktur und Funktionen dieses Panels sind ausführlich in Kap. F 6.3 und H 2.2 beschrieben.

Die zweite Handlungsstrategie soll unerwünschten Überraschungen vorbeugen und die Gesellschaft dagegen absichern. Dies kann etwa durch Gefährdungshaftung geschehen. Unter bestimmten Voraussetzungen sollte eine Versicherungspflicht (oder eventuell ein Fondsmodell) geprüft werden. Die Gefährdungshaftung kann ggf. durch eine Versicherungspflicht für Risikoeerzeuger ergänzt werden. Die hier ebenfalls geeigneten Instrumente der Stärkung der persönlichen und institutionellen Kapazitäten und der technischen Maßnahmen entsprechen weitgehend den Instrumenten beim Risikotyp Damokles.

Beim Katastrophenmanagement (dritte Strategie) kommen die gleichen Instrumente wie beim Typ Damokles zum Einsatz.

Strategien für den Risikotyp Pythia

Beim Risikotyp Pythia, bei dem eine besonders hohe Ungewißheit bei beiden Risikokomponenten Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß vorliegt, gilt ebenfalls die Maxime, das Wissen zu verbessern, v. a. im Bereich der Grundlagenforschung (Tab. H 2.1-3). Gleichzeitig sollten aber hier noch stärker als beim Typ Zyklon vorsorgeorientierte Strategien zum Zug kommen, da das Haftungsprinzip möglicherweise nur bedingt durchgesetzt werden und die

Schadenshöhe globale Ausmaße annehmen kann. Ordnungsrechtliche Begrenzungen und Containment-Maßnahmen sind in diesem Bereich in aller Regel unumgänglich.

Im Rahmen der Vorsorge empfiehlt der Beirat, eine Strategie einzuschlagen, die Instrumente wie das ALARA-Prinzip (As Low As Reasonably Achievable) oder den „Stand der Wissenschaft und Technik“ einsetzt, bei denen die Kosten unterlassener Risikominderungspolitik inklusive der Kosten der Risikominderungspolitik selbst so gering wie möglich zu halten sind. Wesentliches Instrument der Vorsorge ist auch die Begrenzung des Wirkungsfelds, in dem das Risiko zugelassen ist. Auf diese Weise läßt sich das Ausmaß einer nicht vorhersehbaren Katastrophe sinnvoll begrenzen. Haftungsrechtliche Regelungen sind zwar auch hier grundsätzlich zu empfehlen, möglicherweise aber nicht immer durchsetzbar. Deshalb ist hier auch an die Anwendung von Fondslösungen zu denken. Bei globalen Risiken vom Typ Pythia sind internationale Institutionen zur Kontrolle und zum Monitoring sowie hinsichtlich Sicherheitsvorkehrungen erforderlich. Die Instrumente zur Reduzierung der Schadensausbreitung, zur Stärkung der persönlichen und institutionellen Kapazitäten und zur Erhöhung der Resilienz sind in den beiden anderen Risikotypen bereits zur Sprache gekommen.

Zweite Priorität kommt der Verbesserung des Wissens zu, so daß künftige Risikoanalysen eine hö-

Tabelle H 2.1-4
Strategien und Instrumente für den Risikotyp Pandora. Das Hauptproblem bei diesem Risikotyp sind die Ungewißheit sowohl bei der Eintrittswahrscheinlichkeit als auch beim Schadensausmaß sowie die hohe Persistenz und Ubiquität.
Quelle: WBGU

Strategien	Instrumente
1. Ersatzstoffe bereitstellen	<ul style="list-style-type: none"> • Forschung zur Entwicklung von Substituten • Technische Maßnahmen zur Verbreitung und Durchsetzung von Ersatzstoffen • Förderung von Grundlagenforschung • Subvention von nutzengleichen Alternativen
2. Mengen- und Ausbreitungsbegrenzungen durchsetzen, bis hin zu Verboten	<ul style="list-style-type: none"> • Ordnungsrechtliche Mengenbegrenzung durch <ul style="list-style-type: none"> - Umweltstandards oder - Einsatz von Anreizsystemen (Zertifikate) • Gefährdungshaftung, wenn sinnvoll • Technische Verfahren der Rückhaltung verbessern und ausbauen • Ordnungsrechtliche Grenzwerte und Verbote • Stärkung der Kapazitäten (Technisches Wissen, Technologietransfer, Ausbildung) • Joint Implementation
3. Schadensmanagement sicherstellen	<ul style="list-style-type: none"> • Stärkung der persönlichen und institutionellen Kapazitäten (Notfallschutz) • Technische Schutzmaßnahmen, inklusive Begrenzungsstrategien • Ausbildung, Bildung, Empowerment

here Abschätzungssicherheit liefern können. Dazu bedarf es der Forschung zur Ermittlung von Eintrittswahrscheinlichkeiten und möglicher Schadensausmaße. Außerdem ist auch hier ein internationales Frühwarnsystem nötig, ähnlich wie beim Typ Zyklon.

Das Schadensmanagement kommt den Instrumenten der vorherigen Risikotypen sehr nahe. Schwerpunkt ist hier aber die Begrenzung des Schadensausmaßes durch lokale Begrenzungen des Einsatzes risikoezeugender Aktivitäten.

Strategien für den Risikotyp Pandora
Risiken des Typs Pandora zeichnen sich durch Ungewißheit bei der Eintrittswahrscheinlichkeit und beim Schadensausmaß (nur Vermutungen) sowie durch hohe Persistenz und Ubiquität aus (Tab. H 2.1-4). Da die negativen Auswirkungen dieser Risikoquellen noch unbekannt sind, im ungünstigsten Fall aber globale Ausmaße mit irreversiblen Folgen annehmen können, sind hier Forschungsanstrengungen zur Entwicklung von Ersatzstoffen und ordnungsrechtliche Maßnahmen zur Eindämmung oder Reduzierung dieser Risikoquellen dringend geboten. Dies muß auch im internationalen Rahmen umgesetzt werden.

Beim Risikotyp Pandora hat die Bereitstellung von Ersatzstoffen oder -verfahren Vorrang vor allen weiteren Strategien. Was die Erforschung und Entwicklung von Substituten angeht, gilt im Prinzip dasselbe wie beim Typ Damokles. Darüber hinaus erfordert dieser Typ eine weitreichende Grundlagenforschung, die angemessen gefördert werden sollte.

In einem zweiten Schritt sollten die Risikopotenziale dadurch verringert werden, daß bestimmte Risikoquellen reduziert, örtlich begrenzt oder gar gänzlich verboten werden. Hierzu eignen sich sowohl ein

ordnungsrechtliches Vorgehen, z. B. über Mengengrenzungen durch Umweltstandards, als auch ein ökonomisches Anreizsystem mit Hilfe von Zertifikaten. In manchen Fällen ist auch die Anwendung der Gefährdungshaftung angebracht. Ebenfalls wie bei den vorangegangenen Typen gelten die Instrumente der technischen Verfahren zur Risikobegrenzung und der Stärkung der persönlichen und institutionellen Kapazitäten.

Strategien für den Risikotyp Cassandra

Bei den Risiken vom Typ Cassandra besteht kaum noch Unsicherheit, die Menschen verdrängen aber diese Risiken wegen ihrer schleichenden Form bzw. der verzögerten Wirkung zwischen auslösendem Ereignis und Schaden (Tab. H 2.1-5). Häufig fehlt auch wegen der Kurzzeitlegitimation der Politik durch kurze Wahlperioden die Motivation, sich solch langfristiger Bedrohungen anzunehmen. Hier ist der Beirat der Meinung, daß durch Maßnahmen der kollektiven Selbstverpflichtung (etwa Verhaltenskodex der multinationalen Unternehmen) durch langfristig angelegte globale Institutionen (UN Risk Assessment Panel) sowie durch internationale Konventionen die Langfristverantwortung weltweit gestärkt werden muß. Zur Reduzierung dieser Risiken sind dann auch Stoffmengenbegrenzungen geeignet.

Wenn eine erhebliche zeitliche Verzögerung zwischen dem auslösenden Ereignis und der Schadenswirkung vorliegt, gilt es, durch geeignete Instrumente eine langfristige Verantwortung gegenüber zukünftigen Generationen zu stärken. Dabei setzt der Beirat vorrangig auf die Selbstverpflichtung von Staaten und wichtigen Akteuren (etwa multinationale Unternehmen oder Rückversicherer). Eventuell

Strategien	Instrumente
1. Langfristverantwortung stärken	<ul style="list-style-type: none"> • Selbstverpflichtung, code of conduct der globalen Akteure • Kopplung von Partizipation, Empowerment und institutionelle Absicherung von Langfriststrategien • Gegenmaßnahmen zu Staatsversagen • Fondslösung • Internationale Koordination
2. Durch Substitute und Mengenbegrenzungen stetig reduzieren, bis hin zum Verbot	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatz von Anreizsystemen (Zertifikate und Abgaben) • Gefährdungshaftung, wenn sinnvoll • Mengenbegrenzung durch Umweltstandards (auch international) • Technische Verfahren der Rückhaltung verbessern und ausbauen • Stärkung der persönlichen und institutionellen Kapazitäten (Technisches Know-how, Technologietransfer, Ausbildung) • Joint Implementation
3. Schadensmanagement sicherstellen	<ul style="list-style-type: none"> • Stärkung der persönlichen und institutionellen Kapazitäten (Rekultivierung, Notfallschutz) • Technische Schutzmaßnahmen, inklusive Containment-Strategien • Ausbildung, Bildung, Empowerment

Tabelle H 2.1-5
Strategien und Instrumente für den Risikotyp Cassandra. Das Hauptproblem bei diesem Risikotyp ist die verzögerte Wirkung zwischen auslösendem Ereignis und Schaden (hohe Latenzzeit oder schleichende Risiken).
Quelle: WBGU

greifen auch hier Fondslösungen. Auf der eher individuellen Ebene können potentiell Betroffene durch die Verknüpfung von Partizipation und Empowerment mehr Handlungskapazitäten erlangen, und damit zu einer langfristigen Verantwortung gegenüber ihrer eigenen Lebenswelt angeregt werden.

Die nächste Priorität gilt der stetigen Reduzierung der Risikopotentiale, indem über Ersatzstoffe und -verfahren Alternativen entwickelt werden und nicht ersetzbaren Risikopotentialen durch Mengenbegrenzung oder zumindest einer Begrenzung des Anwendungsraums Einhaltung geboten wird. Die dafür erforderlichen Instrumente sind in den anderen Risikotypen bereits behandelt worden.

Strategien für den Risikotyp Medusa

Der Risikotyp Medusa verlangt nach Maßnahmen der Vertrauensbildung und der Verbesserung des Wissens zur Reduzierung der verbleibenden Unsicherheiten (Tab. H 2.1-6). Aufklärung allein reicht hier nicht aus, vielmehr müssen die betroffenen Menschen selbst an der Gestaltung ihrer Lebenswelten mitwirken und die Unsicherheiten und Widersprüchlichkeiten, die mit diesen Risiken verbunden bleiben, konstruktiv in eigene Entscheidungen einbinden.

Bei diesem Risikotyp sind das Schadensausmaß und die Eintrittswahrscheinlichkeit gering, dagegen ist das Mobilisierungspotential besonders hoch. Um die Öffentlichkeit über das tatsächliche Schadensausmaß und die Eintrittswahrscheinlichkeit aufzuklären zu können, muß zuallererst Vertrauen gebildet werden. Dazu können unabhängige Institutionen

beitragen, die offen über die Ergebnisse der wissenschaftlichen Forschung, aber auch über den rein hypothetischen Charakter vieler Befürchtungen informieren. Die Betroffenen sollten außerdem die Chance erhalten, sich aktiv an der Gestaltung ihrer Lebenswelt zu beteiligen. Auf diese Weise sind sie mit Entscheidungen konfrontiert, bei denen es häufig um eine Auswahl zwischen riskanten Optionen geht. Bei der Abwägung von Risiken müssen sie dabei selbst entscheiden, inwieweit sie den oft wenig begründeten Ängsten in der Öffentlichkeit mehr Gewicht beimessen als etwa den nachgewiesenen Schadenspotentialen alternativer Handlungsoptionen. Auch in Genehmigungsverfahren sollen die Betroffenen mitwirken können, um so selbst die Zielkonflikte abzuwägen und aus der Vielzahl der Optionen die am ehesten vertretbare auszuwählen. Um das Problem von Risiken des Typs Medusa gesellschaftlich bewältigen zu können, ist die Förderung sozialwissenschaftlicher Forschung zum Mobilisierungspotential und zur sozialen Bewältigung von Risikokonflikten notwendig.

Auch bei diesem Typ sollte das Wissen über die angeblichen Risikopotentiale verbessert werden. Es bedarf der Forschung zur Verbesserung der Abschätzungssicherheit und allgemeiner Grundlagen. Daneben sind Maßnahmen zu einer effektiven und glaubwürdigen Risikokommunikation einzuleiten.

Tabelle H 2.1-6
 Strategien und Instrumente für den Risikotyp Medusa. Das Hauptproblem bei diesem Risikotyp ist das hohe Mobilisierungspotential, Schadensausmaß und Wahrscheinlichkeit sind eher gering.
 Quelle: WBGU

Strategien	Instrumente
1. Vertrauen bilden	<ul style="list-style-type: none"> • Aufbau unabhängiger Institutionen zur Information und Aufklärung • Erhöhung der Partizipationschancen über die eigene Lebenswelt mit Verpflichtung zur Prioritätensetzung • Förderung sozialwissenschaftlicher Forschung zu Mobilisierungspotential • Vorbildfunktion: Genehmigungsverfahren mit Mitwirkungsrechten der Betroffenen • Internationale Kontrolle (IAEO) • Internationale Haftungsverpflichtung
2. Wissen verbessern	<ul style="list-style-type: none"> • Forschung zur Verbesserung der Abschätzungssicherheit • Staatliche Forschungsförderung (Grundlagen)
3. Risikokommunikation betreiben	<ul style="list-style-type: none"> • Anschauliche Darstellung der Wirkungszusammenhänge zwischen Auslöser und Konsequenzen • Verstärkte Umweltbildung in Schulen und Stätten der Erwachsenenbildung • Direkte Rückkopplung von Meßdaten an die Öffentlichkeit

2.2 Zentrale Handlungsempfehlungen

2.2.1 Ausbau der Gefährdungshaftung

Es gibt eine Reihe weltweiter Trends, die die Zukunftsfähigkeit der Gesellschaft gefährden können (z. B. Zunahme der Weltbevölkerung, wirtschaftliche Entwicklung, sozioökonomische Vernetzung der Nationen und Volkswirtschaften). Hierauf kann in 2facher Weise reagiert werden. Zum einen kann versucht werden, durch Expertenvorgaben, Technikfolgenabschätzungen und Konsensrunden einen Entwicklungspfad zu definieren, der sich als nachhaltig oder zukunftsfähig erweist. Auf globaler Ebene ist ein solcher Ansatz angesichts der Präferenzen- und Interessenvielfalt, der divergierenden Risikofreudigkeit der einzelnen Gesellschaften sowie der Wissensdefizite nur begrenzt möglich. Es gibt zwar globale Umweltrisiken, bei denen sich ein globaler Konsens darüber abzuzeichnen beginnt, welche Entwicklungen als unerwünscht und nicht zukunftsfähig gelten. So lassen sich etwa für die Klimarisiken (variable) „Leitplanken“ oder „Entwicklungskorridore“ angeben, die nicht über- oder unterschritten bzw. verlassen werden sollen (WBGU, 1995, 1997; Klemmer et al., 1998b).

Dieser Ansatz hat aber seine Grenzen, denn das begrenzte Wissen über die Folgen heutigen Handelns für die Zukunft und die damit verbundenen Bewertungsprobleme sowie die begrenzte Steuerungsfähigkeit komplexer ökonomischer und sozialer Systeme

erschweren eine stringente Ableitung der „Leitplanken“ sowie eine gezielte Systemlenkung. Zukunftsfähigkeit ist daher weniger ein definierbares Ziel als vielmehr ein Auftrag an die heute lebenden Menschen, Regelwerke zu entwickeln, die die Wissensproduktion in eine Richtung lenken, die von langfristigem Denken getragen wird und durch rechtzeitige Aufdecken der negativen Implikationen heutiger Aktivitäten schnelle gesellschaftliche Anpassungsreaktionen im Sinn einer Risikominderung auszulösen vermag (Klemmer et al., 1998a). Zukunftsfähige Gesellschaften müssen somit ständig innovierende und lernende Systeme mit Anreizarrangements zur Risikominderung sein.

Der Beirat mißt daher nicht nur der Schaffung von neuem Wissen große Bedeutung bei, sondern auch der Mobilisierung des Potentials an Problemlösungskompetenz, das dezentral in der Gesellschaft vorhanden, aber keiner zentralen Instanz bekannt ist. Dabei geht es v. a. auch darum, bislang unbekannt Risiken aufzudecken und die Innovation neuer, weniger riskanter technischer Entwicklungslinien zu fördern. Weil eine Risikofolgenabschätzung nicht oder nur bedingt möglich ist, sollten die Wissensproduktion und -mobilisierung über geeignete Anreizsysteme angeregt werden. Neben der Förderung der Grundlagenforschung verlangt dies die Gewährung von Handlungsspielräumen und damit auch die Zuweisung von klar definierten Eigentums- und Nutzungsrechten (Kerber, 1998). Dies eröffnet die Chance für vielfältige, am Markt unter Wettbewerbsbedingungen stattfindende Suchprozesse, die Fehler rechtzeitig aufzudecken und Irrtümer zu vermeiden vermögen. Ein wichtiges Element ist hierbei die

Durchsetzung des Haftungsprinzips, das aufgrund seiner Präventivwirkung die Entstehung von Schäden verhindern soll. Wie der Beirat mehrfach betonte, steht dabei v. a. die Prävention im Vordergrund. Diese vorbeugende Wirkung wird erleichtert, wenn die jeweiligen Risiken versicherbar sind. Dann werden die Versicherungsgesellschaften Expertenstäbe zur Beurteilung dieser Risiken einrichten und zu einem an den vermuteten Risiken ausgerichteten Prämiensystem kommen. Dies wiederum trägt zur Beschleunigung der risikomindernden Wissensproduktion bei, denn Versicherungsnehmer und -geber werden aus Eigeninteresse Risikoforschung betreiben, um Fehleinschätzungen zu vermeiden und um eine Schadensbegrenzung und eine Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeiten zu erreichen.

Bei Risiken, die sich als nicht versicherbar erweisen, könnte dies durchaus bewirken, daß die risikoverursachende Handlung ganz unterbleibt. Wenn dies nicht im Sinn des Staats ist, muß eine Haftungsbegrenzung erfolgen.

2.2.2

Vorsorgliche Wissenserzeugung

Grundlage für die Beherrschung von globalen Umweltrisiken ist das Wissen über Ursachen, Mechanismen und Schadenswirkungen unerwünschter möglicher Ereignisse. Dabei darf nicht vergessen werden, daß die Produktion neuen Wissens, zumeist über den Prozeß der technischen Innovation, selbst wieder Risiken bisher unbekanntem Charakters hervorbringen kann. Gerade in einer hochdynamischen Gesellschaft muß die Politik dafür Sorge tragen, daß die „Ignoranzquote“ – also das Verhältnis zwischen Risikogesamtheit und einschlägigem Vermeidungs- bzw. Bewältigungswissen – sich zumindest nicht verschlechtert.

Es versteht sich von selbst, daß die Ignoranzquote durch problemorientierte Risikoforschung, welche sich mit bekannten oder doch wenigstens erahnbaren Gefahren auseinandersetzt, günstig gestaltet werden kann. Entsprechend gilt es, den hohen Standard, den die deutsche Forschung in diesem Bereich (von der Technikfolgenabschätzung bis hin zur globalen Umweltsystemanalyse) inzwischen erreicht hat, zu halten oder sogar noch anzuheben. Dies kann nicht zum Nulltarif erfolgen, doch die dafür erforderlichen Aufwendungen sind politisch hinreichend begründbar.

Wesentlich problematischer ist die Situation, wenn es um das Management noch unbekannter bzw. nicht systematisch identifizierbarer Risiken geht, welche möglicherweise weit in der Zukunft liegen: Hier ist eine klar definierte, zielorientierte Wissens-

produktion mit kurzfristigem Sicherheitsertrag nicht möglich – der Beirat hat auf diese Besonderheit schon mehrfach ausführlich hingewiesen.

Der Schlüssel zum proaktiven Risikomanagement ist nicht das ad hoc erzeugte, sondern das auf Vorrat produzierte Wissen, wie es nur eine breit gefächerte „wert- und zweckfreie“ Grundlagenforschung hervorbringen kann. Nur ein sich laufend erneuernder und erweiternder Erkenntnisvorrat ohne direkten Verwertungsbezug wird es möglich machen, komplexe Risikokonstellationen zufällig, beiläufig oder spielerisch zu entdecken und in ähnlicher Weise Bewältigungsstrategien zu finden. Der Beirat spricht sich deshalb für eine ungeschmälerete *Sockelförderung der Umweltwissenschaften* im weitesten Sinn aus, wobei das langfristige Ziel ein deutlich verbessertes Verständnis der Zusammenhänge im System Erde sein muß. Die entsprechende Forschung wird reale Risiken aufzeigen, die gegenwärtig nicht einmal ansatzweise erkennbar sind, die sich aber voraussichtlich mit geeigneten Maßnahmen beherrschen lassen werden.

In diesem Zusammenhang weist der Beirat darauf hin, daß Forschung von Vielfalt und Konkurrenz lebt: Es wäre eine gefährliche Illusion anzunehmen, daß Grundlagenforschung durch Vermeidung von Doppel- und Mehrfacharbeiten „verschluckt“ werden könnte – etwa in dem Sinn, daß *ein* Institut weltweit *ein* bestimmtes Kompartiment der Ökosphäre exklusiv zu bearbeiten hätte. Wenn überhaupt, dann ist ein Spektrum von Meinungen, Ansätzen und Methoden nötig, um den Raum der möglichen Risikokonstellationen hinreichend dicht abzutasten. Diese Aussage trifft insbesondere auf die Simulationsmodelle für Klima, Ozeanzirkulation, Vegetationsdynamik usw. zu, wo gerade eine breite Streuung von Design und Realisierung die zufällige Erfassung der kritischen – d. h. der *nicht* offensichtlichen – Gefahrenaspekte ermöglichen wird. Wissen ist Risikokapital, und dieses Kapital verlangt nach Diversifizierung!

2.2.3

Internationaler Mechanismus zur Risikofeststellung und -bewertung

Wissen bildet also den Schlüssel zum Risikomanagement, aber dieser Schlüssel muß auch genutzt werden. Diese Nutzung erfolgt weltweit bisher in völlig unzureichendem Maß, wofür eine Reihe von Faktoren verantwortlich ist: mangelnde Integration von partikulärem Wissen, asymmetrischer Zugang zu Wissen, ineffektive Strukturen des Wissenstransfers usw. Dabei geht es an dieser Stelle noch gar nicht um die Umsetzung von Einsichten in konkrete Maßnahmen der Risikobewältigung, sondern um eine

Vorstufe, wo Wissen Handlungsbedarf anzeigt. Gerade mit Blick auf globale Umweltgefahren kann von einer entsprechenden Aufarbeitung der verfügbaren Einsichten noch keine Rede sein. Handlungsrelevantes Risikowissen müßte hier globale Gefährdungspotentiale geografisch explizit sichtbar machen. Was etwa die Perspektiven der Welternährungssicherheit angeht, gibt es derzeit eine Reihe wenig tragfähiger Spekulationen, die das heute schon verfügbare Wissen (z. B. über die Auswirkungen zu erwartender Klimaänderungen oder fortschreitender Bodendegradationsprozesse) noch nicht annäherungsweise ausschöpfen.

Der Beirat empfiehlt deshalb, ein „(UN) Risk Assessment Panel“ einzurichten. Die grundlegenden Funktionen dieses Panels sollten denen des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ähneln, obgleich die Aufgabe des (UN) Risk Assessment Panels weniger die Analyse einmal erkannter Risiken ist als vielmehr die frühzeitige und integrierte Erfassung von neuartigen, erst ansatzweise identifizierbaren Risiken von weltweiter Bedeutung umfassen sollte.

Das (UN) Risk Assessment Panel sollte nicht eigenständig forschen, sondern die bestehende relevante Forschung sichern und stimulieren, deren Ergebnisse kondensieren und – nach einem umfassenden internationalen wissenschaftlichen Bewertungsprozeß – für die politischen Entscheidungsträger in einer sinnvollen Form aufbereiten. Hauptziel ist, einen Netzwerkknoten aufzubauen, in dem verschiedene nationale Risikoerfassungen und -bewertungen zusammenlaufen, systematisch gesammelt und aufeinander abgestimmt werden, so daß unter der Ägide dieses Panels bestimmte Aufgaben oder Funktionen, die in Kap. F 6 beschrieben werden, z. T. an bereits existierende internationale Organisationen oder Institutionen delegiert werden können. Ein solches Panel wäre demnach nicht mit der Gründung einer neuen internationalen Organisation verbunden, sondern würde auf die Kapazitäten und Kompetenzen bereits bestehender Organisationen zurückgreifen.

5 Aufgabenschwerpunkte sollte das Panel insbesondere wahrnehmen:

- *Frühwarnsystem:* Für eine internationale Vernetzung von Früherkennung und Frühwarnung sollten weltweit möglichst viele wissenschaftliche Daten und Erkenntnisse aus der Früherkennung gesammelt, systematisiert und synthetisiert werden, um eine zuverlässige Vorhersage drohender Gefahren gewährleisten zu können. Voraussetzung dafür wäre vermutlich die Unterstützung bestimmter Länder bei der Schaffung nationaler Früherkennungssysteme oder Risikozentren, insbesondere in vulnerablen Räumen.

- *Auswertung von Monitoring:* Das Panel sollte frühzeitig und handlungsorientiert die Ergebnisse der Monitoringsysteme auswerten. Einem internationalen Monitoring käme die Aufgabe zu, Risikopotentiale zu überwachen, zu kontrollieren und zu regeln. Zu bestimmten technischen und organisatorischen Standards müßten sich die Staaten selbst verpflichten, damit ein wirksames Monitoring gesichert wäre. Die Überprüfung und Einhaltung der Standards könnten in Gestalt eines „internationalen TÜV“ erfolgen (Kap. H 2.2.4). Institutionen wie die IAEO sollten dabei als Vorbild dienen. Ein internationales Monitoring kann nur dann gewährleistet werden, wenn nationale Überwachungsstrukturen durch institutionelle Vernetzung effektiv koordiniert werden.

- *Wissensgenese und -verteilung:* Ein (UN) Risk Assessment Panel kann als Multiplikator von „Risikowissen“ fungieren, indem er wissenschaftlich gesicherte Erkenntnisse der Risikoanalyse und Risikobewertung (Kap. C) für alle interessierten Akteure zur Verfügung stellt. Darüber hinaus sollte das Panel Risikogrundlagenforschung anregen, unterstützen und koordinieren, um Wissenslücken in der Analyse und Bewertung bestimmter Risikopotentiale (im Grenzbereich, s. Kap. C) schließen zu können.

- *Internationales Verfahren der Risikoevaluierung:* Das vorgeschlagene (UN) Risk Assessment Panel könnte auch dazu beitragen, daß eine einheitliche Methode der Risikoanalyse und Risikobewertung kollektiv Gültigkeit erlangt, so daß Risikobewertungen besser vergleichbar und handhabbar werden würden. Der Beirat schlägt dazu vor, die in Kap. C eingeführte Differenzierung in Normal-, Grenz- und Verbotsbereich zugrunde zu legen. Globale Risikopotentiale müßten gemäß dieser Risikoklassifizierung behandelt werden. Eine kollektiv anerkannte Risikobewertung würde also jene Risikopotentiale, die sich im „roten Bereich“ bewegen, als inakzeptabel beurteilen und mit Verboten belegen. Im Grenzbereich müßten die Risikopotentiale mit Hilfe einer regulativen Politik bewältigt werden, wobei einer kontinuierlichen Wissensgenerierung erhebliche Bedeutung zukäme.

- *Fokussierung auf wichtigste Themenfelder und Bestimmung der „Sicherheitsstreifen“:* Das (UN) Risk Assessment Panel soll die wesentlichen Politikbereiche (beispielsweise 4–5 Felder) identifizieren, sich bei seiner Arbeit auf diese Bereiche konzentrieren und hierfür die „Sicherheitsstreifen“, also die noch akzeptablen Übergangsbereiche zu intolerablen Zuständen, bestimmen.

Die Funktion des Panels wäre demnach die interdisziplinäre Kondensierung der wissenschaftlichen For-

schung zu den Risiken des Globalen Wandels (politikorientiertes Abwägen aller Einzelergebnisse), und zwar möglichst

- unabhängig vom direkten Interesse einzelner Staaten,
- unabhängig vom direkten Verwertungsinteresse der Privatwirtschaft,
- unabhängig vom direkten Einfluß privater politischer Verbände und Interessensgruppen.

Das (UN) Risk Assessment Panel sollte zudem als – wissenschaftlich fundierte – Schnittstelle zwischen privaten Akteuren (Umwelt- und Entwicklungsorganisationen, Wirtschaftsverbände) und der Politik dienen, indem Eingaben von Nichtregierungsorganisationen ermöglicht, wissenschaftlich geprüft und bewertet werden würden. Eine wichtige Aufgabe des Panels wäre außerdem die Information der staatlichen und privaten Akteure (auf allen Ebenen) über den Erkenntnisstand zu allen Umweltrisiken von internationaler Bedeutung.

2.2.4

Schaffung wirkungsvoller Kapazitäten der Risikobewältigung

Die bisher ausgesprochenen Empfehlungen sollen dazu beitragen, daß Umweltrisiken entweder erst gar nicht entstehen können oder rechtzeitig vorhergesehen bzw. richtig eingeschätzt werden können. Dennoch werden die entsprechenden politischen Maßnahmen allein nicht zur völligen Vermeidung von globalen Gefährdungspotentialen bzw. zur totalen Unterdrückung von regionalen Schadensereignissen führen. Entscheidend ist die Umsetzung von Wissen in Vorsorge- und Bewältigungshandlungen. Dafür fehlen selbst in vielen Industrieländern, v. a. aber in den meisten Entwicklungsländern, die notwendigen institutionellen und technischen Kapazitäten: Auf internationaler Ebene sind lediglich erste Ansätze zu erkennen. Der Beirat spricht hierzu die folgenden Empfehlungen aus:

- *Nationalen und internationalen Katastrophenschutz ausbauen:* Mit Blick auf fast alle Risiken des Globalen Wandels muß auch in den Ausbau von Kapazitäten zur Katastrophengewältigung investiert werden. Wo nicht schon existierende Mechanismen greifen, wäre zu prüfen, ob nicht Strukturen geschaffen werden können, um akute Probleme zu lösen. National wird jede Regierung hier die entsprechenden Vorkehrungen zu treffen haben, wobei den finanziell überforderten Entwicklungsländern von der internationalen Gemeinschaft finanzielle und technische Unterstützung angeboten werden sollte. International könnte der Aufbau von überstaatlichen „Stand-by“-Katastro-

phenschutzeinheiten in Erwägung gezogen werden. Beispiele hierfür sind die Katastrophenschutzeinheiten des Roten Kreuzes oder die internationale Hilfstruppe für Dekontaminierung bei der IAEO. Diese Einheiten könnten als „schnelle Eingreiftruppe“ ausgebaut und unter Beachtung der nationalen Souveränitätsrechte speziell für die Bewältigung von Umweltkatastrophen geschult werden. Die zentrale Einsatzleitung wäre in eine internationale Organisation im Rahmen der Vereinten Nationen einzubetten und eng mit dem oben vorgeschlagenen (UN) Risk Assessment Panel zu koppeln. In diesem Zusammenhang sollte auch geprüft werden, ob die Implementierung eines internationalen Umweltspezialinspektionssystems auf freiwilliger Basis die Risikoversorge und -nachsorge verbessern könnte.

- *Nichtstaatliche Umweltverbände stärken:* Ein wesentliches Element beim langfristigen Management von globalen Umweltrisiken könnte die Stärkung nichtstaatlicher Umweltverbände sein. Mit Blick auf die innerstaatliche Politik wäre zu prüfen, inwieweit beispielsweise Umweltschutzverbände verstärkt über den Weg der Verbandsklage (oder Einzelpersonen über den Weg der Umweltklage) wirkungsvoller als bisher die Interessen der Umwelt und der zukünftigen Generationen einbringen könnten. Eine unbedachte Erweiterung der Klagemöglichkeiten oder gar die Einführung der Popularklage im Umweltrecht stößt aber auf Bedenken, weil sie Mißbrauchsmöglichkeiten eröffnen und zu internationalen Wettbewerbsverzerrungen führen könnte. Eine behutsame Erweiterung der Klagemöglichkeiten entspricht aber immerhin der Tendenz des europäischen Gemeinschaftsrechts. Voraussetzung dafür wäre die Förderung einer offenen Kommunikationskultur auf der Ebene von Betrieben, Gemeinden und innerhalb von Staaten, in der auch unterschiedliche Werthaltungen und unterschiedliche Vorstellungen von Lebens- und Umweltqualität Beachtung finden müßten. Auch auf internationaler Ebene haben die Umwelt- und Entwicklungsverbände eine immer größere Bedeutung erlangt. Zum Teil werden Nichtregierungsorganisationen auf diplomatischen Konferenzen und innerhalb der Vereinten Nationen bereits Anhörungsrechte zugestanden und Zugang zu vielen Dokumenten gewährt. Es sollte geprüft werden, inwieweit Nichtregierungsorganisationen noch wirksamer in die internationalen Verhandlungs- und Umsetzungsprozesse eingebunden werden könnten. Mit Blick auf eine globale Risikobewältigungsstrategie empfiehlt der Beirat insbesondere weitgehende Initiativrechte von Nichtregierungsorganisationen (einschließlich Wirtschafts-

verbänden) vor dem empfohlenen (UN) Risk Assessment Panel. Das Problem der möglicherweise nicht gewährleisteten Legitimation privater Akteure ist dabei zu berücksichtigen.

- *Selbsthilfepotentiale in Entwicklungsländern fördern:* Der Beirat hat in seinen bisherigen Gutachten wiederholt darauf hingewiesen, daß die Risiken des Globalen Wandels sehr ungleich zwischen den Ländern und Bevölkerungsgruppen der Erde verteilt sind. Besonders gefährdet sind die Menschen in den Entwicklungsländern. Daher muß es ein wesentliches Element einer wirksamen globalen Risikopolitik sein, die Bewältigungskapazitäten in den Entwicklungsländern zu stärken, insbesondere die der am meisten gefährdeten armen Menschen. Selbsthilfeorientierte Armutsbekämpfung ist auch deshalb ein wichtiger Teil einer globalen Risikovorsorge- und Abschwächungspolitik, weil sie nicht nur auf Breitenwirkung abzielt, sondern zugleich strukturelle Reformen in Staat und Gesellschaft anregt. In einigen Fällen müssen zudem die Grundvoraussetzungen für einen wirksamen Umgang mit den Risiken des Globalen Wandels erst neu geschaffen werden, nämlich die Grundstrukturen einer aufgabenorientierten staatlichen Verwaltung. Auch hier ist die internationale Gemeinschaft in besonderer Weise in ihrer Solidarität gefordert. Insgesamt kann auf diese Weise das potentielle Schadensausmaß von Risiken durch weitere technische und finanzielle Zusammenarbeit deutlich gesenkt werden. Zwar leistet die deutsche Entwicklungszusammenarbeit mit ihren 3 Schwerpunkten „Armutsbekämpfung“, „Umwelt- und Ressourcenschutz“ sowie „Bildung und Ausbildung“ einen wichtigen Beitrag zur Bewältigung der Risiken des Globalen Wandels. Die vorhandenen Finanzmittel reichen aber nicht aus. Deshalb hat der Beirat in der Vergangenheit wiederholt eine deutliche Erhöhung der öffentlichen Mittel für die Entwicklungszusammenarbeit empfohlen (WBGU, 1996a–1998a). Das Bewältigungspotential einer Gesellschaft gegenüber den Risiken des Globalen Wandels, ihr Wissen über Verursachung und Wirkungszusammenhänge sowie ihre Fähigkeit, über Risiken zu kommunizieren, hängt direkt vom Bildungsniveau und der wissenschaftlichen Kompetenz ab. Aber gerade im Bildungsbereich hat sich das Nord-Süd-Gefälle in den letzten Jahren weiter verstärkt. Die Produktion von Risikowissen im Innovationsprozeß wird v. a. für jene Länder wichtig, deren Industrialisierung noch am Anfang steht und bei denen in Zukunft wichtige Entscheidungen in den Schlüsselbereichen der Wirtschaft anstehen. Wissenstransfer in allen sinnvollen Formen zwischen Industrie- und Entwicklungsländern ist deshalb

ein unverzichtbares Instrument des globalen Risikomanagements. Das oben vorgeschlagene (UN) Risk Assessment Panel könnte hier eine wesentliche Rolle spielen.

2.2.5 Ökologische Kriterien der Entwicklungszusammenarbeit

Selbst die bestgemeinte Solidarität mit den durch den Globalen Wandel besonders gefährdeten Ländern und Gruppen ist zum Scheitern verurteilt, wenn nicht auch die Empfänger von Solidaritätsleistungen einige Grundregeln zum Schutz unserer gemeinsamen Umwelt beachten. Deshalb empfiehlt der Beirat, verstärkt über ökologische Kriterien von Entwicklungszusammenarbeit nachzudenken.

Der Umweltschutz wurde bereits 1975 von der Bundesregierung in den Zielkatalog der entwicklungspolitischen Zusammenarbeit aufgenommen und 1986 zu einem der 5 fachlichen Schwerpunkte dieser Zusammenarbeit erklärt. Der Trend hat sich seit der Rio-Konferenz verstärkt. Mehr als ¼ aller bilateralen Gesamtzusagen im Rahmen der Entwicklungszusammenarbeit betreffen mittlerweile den Bereich des Umweltschutzes. Das waren in den letzten Jahren mehr als eine Milliarde DM.

Der Beirat hält diese Aktivitäten für einen sehr wichtigen Beitrag zur Reduzierung globaler Umweltrisiken. Es wird begrüßt, daß die Umweltverträglichkeit als Element in die Projektvorhabensförderung des BMZ integriert wurde. Umweltstandards als Grundlage der Entwicklungszusammenarbeit sollten dabei zukünftig eine stärkere Bedeutung einnehmen. In diesem Zusammenhang sind die laufenden Bemühungen des Entwicklungsausschusses der OECD zu unterstützen, eine Harmonisierung der Schutz- und Kontrollmaßnahmen der unterschiedlichen Geberländer herbeizuführen. Nicht zuletzt sollte geprüft werden, ob auf europäischer Ebene die Verankerung des Schutzes der globalen Umwelt als ein Ziel der Entwicklungszusammenarbeit in Art. 130u Abs. 2 EGV bzw. nach Inkrafttreten des Amsterdamer Vertrags, Art. 177 Abs. 2 EGV gemeinschaftsweit verankert werden sollte.

2.2.6 Förderung der Risikomündigkeit

Eine dynamisch sich entwickelnde Weltgemeinschaft kann keinen risikofreien Weg gehen, wenn unverzichtbare sozioökonomische Chancen wahrgenommen werden sollen. Im übrigen kann gerade eine risikoscheue Politik sich langfristig als besonders riskant

erweisen, da mit der Vermeidung bekannter Gefahren zugleich Optionen für die spätere Bewältigung unbekannter Risiken zunichte gemacht werden können. Der Globale Wandel bringt allerdings Risiken einer neuen Charakteristik mit sich (z. B. die Gefahr der Veränderung ozeanischer Strömungsmuster), die nahezu alle Menschen auf diesem Planeten gemeinsam, aber mit zumeist höchst unterschiedlichen Konsequenzen, betreffen und deren potentielle Auswirkungen weit in die Zukunft der Menschheit hineinreichen könnten. Diese besondere Risikoqualität erfordert eine neue Qualität der Risikoverantwortung, wie sie nur der „*risikomündige Bürger*“ wahrnehmen kann.

Der risikomündige Bürger sollte

- adäquat über den aktuellen Erkenntnisstand über globale Umweltrisiken informiert sein,
- weitestgehend bei wirklich kritischen Entscheidungen über die Inkaufnahme bestimmter Umweltrisiken einbezogen werden,
- die unter seiner Beteiligung getroffenen Entscheidungen auch dann mittragen, wenn sich diese im Nachhinein als fehlerhaft erweisen sollten.

Der Beirat empfiehlt der Bundesregierung zu prüfen, ob das existierende Instrumentarium zur Förderung dieser 3 Hauptelemente der Risikomündigkeit bisher tatsächlich ausgeschöpft worden ist bzw. ob dieses Instrumentarium weiterentwickelt werden sollte. Die nicht gerade vertrauensstiftenden Vorgänge im Zusammenhang mit BSE und Transporten von radioaktivem Material legen die Vermutung nahe, daß hier deutliche Verbesserungen möglich sind.

Allerdings sind 2 fundamentale Probleme zu überwinden: Zum einen müssen im Zusammenhang mit globalen, d. h. insbesondere Landes- und Generationengrenzen überschreitenden Gefahren kompetente, faire und effiziente Formen der politischen Repräsentanz und Partizipation entwickelt werden. Diese Herausforderung steht gegenwärtig im Mittelpunkt der Debatte über die Perspektiven von „Global Governance“. Der Prozeß der Gestaltung und Umsetzung der Klimarahmenkonvention stellt möglicherweise ein Paradigma dafür dar, was im globalen Kontext dem lokalen Willensbildungsprozeß (inklusive „Runder Tische“) entsprechen könnte.

Zum anderen ist Risikomündigkeit keine Zielvorstellung, die alle Bringschuld bei den politischen Mandatsträgern oder Behörden sieht. Das Angebot zur Information, zum Diskurs, zur Mitgestaltung und zur gemeinsamen Verantwortung muß auch vom „Weltbürger“ wahrgenommen werden. Insofern endet dieses Gutachten mit einem Aufruf zur Risikopartnerschaft an alle, die sich oder ihre Nachkommen von globalen Umweltveränderungen bedroht fühlen: Selbst relative Sicherheit ist kein Gut, das ein

wie auch immer geartetes Kollektiv zur freien Inanspruchnahme zur Verfügung stellen kann.

Literatur

- Ahl Goy, P. und Duesing, J. H. (1996): Assessing the environmental impact of gene transfer to wild relatives. *BioTechnology* 14, 39–40.
- Ahrens, T. J. und Harris, A. W. (1994): Deflection and fragmentation of near-earth asteroids. In: Gehrels, T. (Hrsg.): *Hazards due to comets and asteroids*. Tuscon: University of Arizona Press, 897–928.
- Ainsworth, M. (1998): Die Festlegung staatlicher Prioritäten zur Vermeidung von HIV/AIDS. *Finanzierung & Entwicklung* (3), 18–21.
- Akademie der Wissenschaften zu Berlin (Hrsg.) (1992): *Umweltstandards*. Berlin: de Gruyter.
- Alcamo, J., Shaw, R. und Hordijk, H. (1990): The RAINS model of acidification. *Science and Strategies in Europe*. Dordrecht: Kluwer.
- Alcamo, J., Krol, M. und Posch, M. (1995): An integrated analysis of sulfur emissions, acid deposition and climate change. *Water, Air and Soil Pollution* 85 (3), 1539–1550.
- Alewel, C., Bredemeier, M., Matzner, E. und Blanck, K. (1997): Soil solution response to experimentally reduced acid deposition in a forest ecosystem. *Journal of Environmental Quality* 26, 658–665.
- Ammann, K., Jacot, Y. und Rufener Al Mazyad, P. (1996): Field Release of Transgenic Crop in Switzerland, an Ecological Risk Assessment. In: Schulte, E. und Käppeli, O. (Hrsg.): *Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen – Eine Option für die Landwirtschaft? BATS (Biosafety Research and Assessment of Technology Impacts of the Swiss Priority Programm Biotechnology) – TA Hefte*. Bern: Schweizerischer Nationalfonds, 101–158.
- Amthor, J. S. (1995): Terrestrial higher-plant response to increasing atmospheric CO₂ in relation to the global carbon cycle. *Global Change Biology* 1, 243–274.
- Anderson, D. M. (1995): Toxic red tides and harmful algal blooms. *Reviews of Geophysics* 33, 1189–1200.
- Anderson, R. M., Donnelly, C. A., Ferguson, N. M., Woolhouse, M. E., Watt, C. J., Udy, H. J., MaWhinney, S., Dunstan, S. P., Southwood, T. R., Wilesmith, J. W., Ryan, J. B., Hoinville, L. J., Hillerton, J. E., Austin, A. R. und Wells, G. A. (1996): Transmission dynamics and epidemiology of BSE in british cattle. *Nature* 382 (6594), 779–788.
- Arnold, S. F., Klotz, D. M., Collins, B. M., Vonier, P. M., Guillet, L. J. und McLachlan, J. A. (1996): Synergistic activation of estrogen receptor with combinations of environmental chemicals. *Science* 272, 1489–1492.
- Arnold, V. I (1992): *Catastrophe theory*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Arnone III, J. A. und Hirschel, G. (1997): Does fertilizer application alter the effect of elevated CO₂ on *Carex* leaf litter quality and in situ decomposition in an alpine grassland? *Acta Oecologica* 18, 201–206.
- Arrhenius, S. (1896): On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature on the ground. *Philosophical Magazine and Journal of Science* 41 (251), 237–269.
- Arrow, K. und Hurwicz, L. (1971): An optimality criterion for decision making under uncertainty. In: Carter, C. F. und Ford, J. L. (Hrsg.): *Uncertainty and expectations in economics*. Clifton: Kelley, 1–11.
- Arthur, W. B. (1989): Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events. *The Economic Journal* 99, 116–131.
- Ashby, W. R. (1974): *Einführung in die Kybernetik*. Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- Assmann, H.-D. (1988): Rechtsfragen des Kausalitätsnachweises bei Umweltschäden. In: Nicklisch, F. und Assmann, H.-D. (Hrsg.): *Prävention im Umweltrecht*. Heidelberger Kolloquium Technologie und Recht. Heidelberg: Müller, 155–178.
- Atwater, T., Salwen, M. und Anderson, R. (1985): Media agenda-setting with environmental issues. *Journalism Quarterly* 62, 393–397.
- Augstein, E. (1991): Die Bedeutung des Ozeans für das irdische Klima. In: Hutter, K. (Hrsg.): *Dynamik umweltrelevanter Systeme*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 141–169.
- Aurand, K. und Hazard, B. P. (1992): Die Rolle und Bedeutung von Information für die Umweltmedizin. In: Aurand, K., Hazard, B. P. und Tretter, F. (Hrsg.): *Umweltbelastungen und Ängste*. Opladen: Westdeutscher Verlag, 15–27.
- Auswärtiges Amt (1997): Bericht zur Rüstungskontrolle, Abrüstung und Nichtverbreitung 1997. Unterrichtung durch die Bundesregierung. Bericht der Bundesregierung zum Stand der Bemühungen um Rüstungskontrolle, Abrüstung und Nichtverbreitung sowie über die Entwicklung der Streitkräftepotentiale (Jahresabrüstungsbericht 1997). Bonn: Auswärtiges Amt.
- Bächler, G., Böge, V., Klötzli, S., Libiszewski, S. und Spillmann, K. R. (Hrsg.) (1996): *Kriegsursache Umwelterstörung. Ökologische Konflikte in der Dritten Welt und Wege ihrer friedlichen Bearbeitung*. Chur: Rüegger.
- Bacow, L. S. und Wheeler, M. (1984): *Environmental dispute resolution*. New York, London: Plenum Press.
- Bak, P., Tang, C. und Wiesenfeld, K. (1987): Self-organized criticality – an explanation of 1/f noise. *Physical Review Letters* 59, 381.
- Banse, G. (1996): Herkunft und Anspruch der Risikoforschung. In: Banse, G. (Hrsg.): *Risikoforschung zwischen Disziplinarität und Interdisziplinarität*. Berlin: Edition Sigma, 15–72.
- Baram, M. (1980): Cost-Benefit Analysis: An Inadequate Basis for Health, Safety, and Environmental Regulatory Decision-making. *Ecology Law Quarterly* 8, 473–531.
- Bartsch, D. (1997): Ecological Impact of Transgenic Virus-Resistance in Crop, Weed, and Wild Plant Populations (Due to Potential Alterations of Plant Invasiveness). In: Tepfer, M. und Balázs, E. (Hrsg.): *Virus-resistant Transgenic Plants: Potential Ecological Impact*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 107–113.
- Bartsch, D. und Schuphan, I. (1998): Gentechnische Eingriffe an Kulturpflanzen. Bewertung und Einschätzung möglicher Probleme für Mensch und Umwelt aus ökologischer und pflanzenphysiologischer Sicht (Gutachten im Auftrag des Rats von Sachverständigen für Umweltfragen, Wiesbaden). In: SRU – Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (Hrsg.): *Zu Umweltproblemen der Freisetzung und des Inverkehrbringens gentechnisch veränderter Pflanzen*. Stuttgart: Metzler-Poeschel, 51–122.
- Baumann, B. (1993): *Offene Gesellschaft, Marktprozeß und Staatsaufgaben – Möglichkeiten und Grenzen ökonomischer Theorien zur Erklärung der Funktionsweise offener Sozialsysteme und zur Legitimation staatlichen Handelns in offenen Gesellschaften*. Baden-Baden: Nomos.
- Bayerische Rückversicherung (Hrsg.) (1987): *Gesellschaft und Unsicherheit*. Karlsruhe: Versicherungswirtschaft e.V.
- Bazzaz, F. A. (1986): *Life History of Colonizing Plants: Some*

- Demographic, Genetic and Physiological Features. In: Mooney, H. A. und Drake, J. A. (Hrsg.): *Ecology of Biological Invasions of North America and Hawaii*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 96–110.
- Bechmann, G. (1990): Großtechnische Systeme, Risiko und gesellschaftliche Unsicherheit. In: Halfmann, J. und Japp, K. P. (Hrsg.): *Risikante Entscheidungen und Katastrophenpotentiale. Elemente einer soziologischen Risikoforschung*. Opladen: Westdeutscher Verlag, 129–149.
- Bechmann, G. (1994): Risiko und gesellschaftlicher Umgang mit Unsicherheit. Probleme und Perspektiven. *Österreichische Zeitschrift für Soziologie* 4, 8–33.
- Beck, T. (1995): How the poor fight for respect and resources in village India. *Human Organization* 54 (2), 169–191.
- Beck, U. (1986): *Risikogesellschaft. Auf dem Weg in eine andere Moderne*. Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- Becker, U. (1993): Risikowahrnehmung der Öffentlichkeit und neue Konzepte unternehmerischer Risikokommunikation. In: Rück, B. (Hrsg.): *Risiko ist ein Konstrukt*. München: Kneisebeck, 343–363.
- Bederman, D. J. (1990): International control of marine pollution by exotic species. *Ecology Law Quarterly* 18 (4), 677–717.
- Begon, M., Harper, J. L. und Townsend, C. R. (1996): *Ecology. Individuals, populations and communities*. Boston: Blackwell.
- Bell, P. A., Fisher, J. D., Baum, A. und Greene, T. C. (1996): *Environmental psychology*. Fort Worth: Harcourt Brace.
- Belshe, R. B. (1998): Influenza as a zoonosis: How likely is a pandemic? *Lancet* 351, 460–461.
- Berg, B. und Matzner, E. (1997): Effect of N deposition on decomposition of plant litter and soil organic matter in forest systems. *Environmental Review* 5, 1–25.
- Berg, M., Erdmann, G., Hartmann, M., Jaggy, M., Scheringer, M. und Seiler, H. J. (Hrsg.) (1994): Was ist ein Schaden? Zur normativen Dimension des Schadensbegriffs in der Risikowissenschaft. Dokumente Nr. 2. Zürich: Vdf Hochschulverlag.
- Berg, M., Erdmann, G., Leist, A., Renn, O., Schaber, P., Scheringer, M., Seiler, H. J. und Wiedemann, R. (Hrsg.) (1995): *Risikobewertung im Energiebereich*. Zürich: Vdf Hochschulverlag.
- Bergmann, H., Brockmann, K. L. und Rennings, K. (1996): Möglichkeiten und Grenzen von freiwilligen Umweltschutzmaßnahmen der Wirtschaft unter ordnungspolitischen Aspekten. Kurzfassung des Endberichtes. Mannheim: Institut für Europäische Wirtschaftsforschung.
- Berner, E. K. und Berner, R. A. (1996): *Global Environment: Water, air and geochemical cycles*. New Jersey: Prentice Hall.
- Beroggi, G. E. G. und Kröger, W. (1993): Risikoanalyse technischer Systeme. Methoden und Modelle, Verfahren und Hilfsmittel. *Schweizer Ingenieur und Architekt* 47, 877–883.
- Beroggi, G. E. G., Abbas, T. C., Stoop, J. A. und Aebi, M. (1997): Risk assessment in the Netherlands. Arbeitsbericht Nr. 91 der Akademie für Technikfolgenabschätzung. Stuttgart: Akademie für Technikfolgenabschätzung.
- Berz, G. (1997a): *Changing weather extremes: The viewpoint of the international reinsurer*. München: Münchner Rückversicherung.
- Berz, G. (1997b): Naturkatastrophen – Auffangnetz Rückversicherung. *Spektrum der Wissenschaften* 2, 101–104.
- BfN – Bundesamt für Naturschutz (1997): *Erhaltung der biologischen Vielfalt*. Bonn: BfN.
- Biermann, F., Petschel-Held, G. und Rohloff, C. (1998a): Integrated assessment of environmental security. The syndrome-based approach to conflict research. Paper prepared for the Pilot Study „Environment and Security in an International Context“ of the Committee on the Challenges of Modern Society (CCMS) of the NATO. Bremerhaven, Potsdam, Heidelberg. Unveröffentlichtes Manuskript.
- Biermann, F., Petschel-Held, G. und Rohloff, C. (1998b): Umweltzerstörung als Konfliktursache? Theoretische Konzeptualisierung und empirische Analyse des Zusammenhangs von „Umwelt“ und „Sicherheit“. Bremerhaven, Potsdam, Heidelberg. Unveröffentlichtes Manuskript.
- Birnbacher, D. (1994): Das Risiko in einer prozeduralen Risikoethik. *Ethik und Sozialwissenschaften. Zeitschrift für Erziehungskultur* 5 (1), 137–139.
- Blaschczok, A. (1993): *Gefährdungshaftung und Risikoabweisung*. Köln: Heymann.
- Blatter, R. und Wolfe, M. S. (1996): Die Verwendung molekularbiologischer Technologien zur Erzeugung von Wirtsresistenz gegen Schaderreger. Mögliche Folgen einer Anpassung der Krankheiten und Schädlinge. In: Schulte, E. und Käppli, O. (Hrsg.): *Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingresistente Nutzpflanzen – Eine Option für die Landwirtschaft? BATS (Biosafety Research and Assessment of Technology Impacts of the Swiss Priority Programm Biotechnology) – TA Hefte*. Bern: Schweizerischer Nationalfonds, 253–295.
- Bleischwitz, R. (1998): *Ressourcenproduktivität*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Bloom, B. R. und Small, P. M. (1998): The evolving relation between humans and *Mycobacterium tuberculosis*. *The New England Journal of Medicine* 338, 677–678.
- BMBF – Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (1997): *Bekanntmachung der Förderrichtlinien „BioMonitor“ im Programm der Bundesregierung „Biotechnologie 2000“*. Internet-Datei <http://www.bmbf.de/foerderprog/biomon.htm>. Bonn: BMBF.
- BMFT – Bundesministerium für Forschung und Technologie (1987): *Klimaprobleme und ihre Erforschung*. Bonn: BMFT.
- BML – Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, ZADI – Zentralstelle für Agrardokumentation und -information und IGR – Informationszentrum für Genetische Ressourcen (1997): *Sonderband: 4. Internationale Technische Konferenz der FAO über Pflanzengenetische Ressourcen. Konferenzbericht, Leipziger Deklaration, Globaler Aktionsplan und Weltzustandsbericht*. Bonn: ZADI.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (1996): *Umweltbewusstsein in Deutschland. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage 1996*. Bonn: BMU.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (1998): *Umweltgesetzbuch (UGB-KomE)-Entwurf der unabhängigen Sachverständigenkommission zum Umweltgesetzbuch beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit*. Berlin: Dunker & Humblot.
- BMZ – Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (Hrsg.) (1997): *Grundlagen der deutschen Entwicklungszusammenarbeit*. Bonn: BMZ.
- BMZ – Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (Hrsg.) (1998): *Deutsche Entwicklungspolitik. Ausgewählte Reden (1995–1998) von Carl-Dieter Spranger*. Bonn: BMZ.

- Bobbink, R., Boxman, D., Fremstad, E., Heil, E., Houdijk, A. und Roelofs, J. (1992): Critical loads for nitrogen eutrophication of terrestrial and wetland ecosystems based upon changes in vegetation and fauna. In: Grennfelt, P. und Thörnelof, E. (Hrsg.): Critical loads for nitrogen. Kopenhagen: Nordic Council of Ministers, 111-159.
- Bodewig, T. (1985): Probleme alternativer Kausalität bei Massenschäden. Archiv für die civilistische Praxis 185, 505-558.
- Bohle, H.-G. (1994): Dürrekatastrophen und Hungerkrisen. Sozialwissenschaftliche Perspektiven geographischer Risikoforschung. Geographische Rundschau 46 (7-8), 400-407.
- Bohle, H.-G., Downing, T. E. und Watts, M. J. (1994): Climate change and social vulnerability: Toward a sociology and geography of food insecurity. Global Environmental Change 4 (1), 37-49.
- Bohle, H.-G., Mayer, M. und Weber, E. (1998): Livelihood security and vulnerability in Nepal, India and Sri Lanka. Bulletin of the International Geographical Union (IGU) (im Druck).
- Böhler, D. (1995): Ethik für die Zukunft erfordert Institutionalisierung von Diskurs und Verantwortung. In: Jänicke, M., Bolle, H.-J. und Carius, A. (Hrsg.): Umwelt Global. Veränderungen, Probleme, Lösungsansätze. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 239-248.
- Böhme, G. (1993): Fuzzy-Logik - Einführung in die algebraischen und logischen Grundlagen. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Bolin, B. (1997): Scientific assessment of climate change. In: Fermann, G. (Hrsg.): International politics of climate change: Key issues and critical actors. Oslo: Scandinavian University Press, 83-109.
- Bonß, W. (1991): Unsicherheit durch Gesellschaft - Argumente für eine soziologische Risikoforschung. Soziale Welt 2, 258-277.
- Bonß, W. (1996): Die Rückkehr der Unsicherheit. Zur gesellschaftstheoretischen Bedeutung des Risikobegriffes. In: Banse, G. (Hrsg.): Risikoforschung zwischen Disziplinarität und Interdisziplinarität. Berlin: Edition Sigma, 166-185.
- Borsch, P. und Münch, E. (1983): Die Sicherheit von Kernkraftwerken. In: Münch, E. (Hrsg.): Tatsachen über Kernenergie. Essen und München: Girardet, ETV, 37-52.
- Bradbury, J. A. (1989): The policy implications of differing concepts of risk. Science, Technology, and Human Values 14 (4), 380-399.
- Brandt, P. (1995): Transgene Pflanzen. Basel: Birkhäuser.
- Brauch, H. G. (1997): Weltweite Abschaffung der Chemiewaffen in Sicht. Von der Unterzeichnung zum Inkrafttreten des Übereinkommens. Vereinte Nationen 45 (3), 94-101.
- Braun, R. und Feudel, F. (1996): Supertransient chaos in the two-dimensional complex Ginzburg-Landau equation. Physical Review E 53(6), 6562-6565.
- Brehmer, B. (1987): The psychology of risk. In: Singleton, W. T. und Howden, J. (Hrsg.): Risk and decisions. Chichester, New York: Wiley, 25-39.
- Breidenbach, S. (1995): Mediation. Struktur, Chancen und Risiken von Vermittlung im Konflikt. Köln: Schmidt.
- Breuer, R. (1986): Eingriffsmöglichkeiten nach dem Chemikaliengesetz. In: Gesellschaft für Rechtspolitik (Hrsg.): Chemikaliengesetz. Band 3. München: Beck, 155-305.
- Broecker, W. S. (1997): Thermohaline circulation, the Achilles heel of our climate system: Will man-made CO₂ upset the current balance? Science 278, 1582-1588.
- Brösse, U. (1995): Planungsorientierte Umweltpolitik. In: Junkerheinrich, M., Klemmer, P. und Wagner, G. R. (Hrsg.): Handbuch zur Umweltökonomie. Berlin: Analytica, 204-210.
- Brown, D. (1993): Breaking the cycle: environmental control of *Borrelia*. Annals of the Rheumatic Diseases 52, 407.
- Brown, H. und Goble, R. (1990): The Role of Scientists in Risk Assessment. Risk: Issues in Health and Safety VI, 283-311.
- Brüggemeier, G. (1989): Umwelthaftungsrecht - Ein Beitrag zum Recht der „Risikogesellschaft“. Kritische Justiz 22 (1), 209-230.
- Brun-Vezinet, F., Rouziou, C., Barre-Sinoui, F., Klatzmann, D., Saimot, A. G., Rotenbaum, W., Christol, D., Gluckman, J. C., Montagnier, L. und Chermann, J. C. (1984): Detection of IgG antibodies to lymphadenopathy-associated virus in patients with AIDS or Lymphadenopathy Syndrome. Lancet 1, 8389, 1253-1256.
- Bryceson, D. F. (1990): Food insecurity and the social division of labour in Tanzania, 1919-85. New York: St. Martin's Press.
- BUA - Beratergremium für umweltrelevante Altstoffe der Gesellschaft Deutscher Chemiker (Hrsg.) (1976): Auswahlkriterien und Stoffliste. Weinheim: VCH.
- Budyko, M. I. (1969): The effect of solar radiation variations on the climate of the Earth. Tellus 21, 611-619.
- Buergenthal, T. (1969): Law-making in the international civil aviation organization. New York: Syracuse University Press.
- Burkholder, J. M. und Glasgow jr., H. B. (1997): *Pfiesteria piscicida* and other *Pfiesteria*-like dinoflagellates: Behavior, impacts, and environmental controls. Limnology and Oceanography 42 (5 Teil 2), 1052-1075.
- Burns, T. R. und Überhorst, R. (1988): Creative democracy: Systematic conflict resolution and policymaking in a world of high science and technology. Westport, CT., London: Praeger.
- Burton, I., Kates, R. und White, G. (1978): The environment as hazard. Oxford, N.Y.: Oxford University Press.
- California Environmental Protection Agency (1994): Toward the 21st century. Planning for protection of California's environment. Final Report. Sacramento, Ca.: EPA.
- Callahan, M. A., Slimak, M. W. und Gabel, N. W. (1979): Water-related environmental fate of 129 priority pollutants. Band 1 und 2. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- Calließ, J. (Hrsg.) (1995): Treiben Umweltkonflikte in Gewaltkonflikte? Ökologische Konflikte im internationalen System und Möglichkeiten ihrer friedlichen Bearbeitung. Rehburg-Loccum: Loccumer Protokolle.
- Cansier, D. (1996): Umweltökonomie. Stuttgart: Lucius & Lucius.
- Carius, A. und Lietzmann, K. unter der Mitarbeit von Imbusch, K. (Hrsg.) (1998): Umwelt und Sicherheit. Herausforderungen für die internationale Politik. Berlin, Heidelberg, New York: Springer (im Druck).
- Carusi, A., Gehrels, T., Hlin, E. F., Marsden, B. G., Russel, K. S., Shomaker, C. S., Shoemaker, E. M. und Steel, D. I. (1994): Near-earth objects: Present search programs. In: Gehrels, T. (Hrsg.): Hazards due to comets and asteroids. Tucson: University of Arizona Press, 127-147.
- Cassel-Gintz, M. A., Lüdeke, M. K. B., Petschel-Held, G., Reusswig, F., Plöchl, M., Lammel, G. und Schellnhuber, H.-J. (1997): Fuzzy logic based global assessment of the marginali-

- ty of agricultural land use. *Climate Research* 8, 135–150.
- CDC – Centers for Disease Control and Prevention (1996): L 285 Slide Series : CDC.
- CDC – Centers for Disease Control and Prevention (1997): L 178 Slide Series : CDC.
- Chambers, R. (1989): Vulnerability, coping and policy. *IDS Bulletin* 20, 1–7.
- Chambers, R. (1997): *Whose reality counts: Putting the first last*. London: Intermediate Technology Publications.
- Chapin III, F. S., Sala, O. E., Burke, I. C., Grime, J. P., Hooper, D. U., Lauenroth, W. K., Amanda, L., Mooney, H. A., Mosier, A. R., Naeem, S., Pacala, S. W., Roy, J., Steffen, W. L. und Tilman, D. (1998): Ecosystem consequences of changing biodiversity. *Bioscience* 48, 45–52.
- Chapin, F. S., Schulze, E. D. und Mooney, H. A. (1990): The ecology and economics of storage in plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 21, 423–447.
- Chen, M. A. (1991): *Coping with seasonality and drought*. New Delhi, Newbury Park, London: Sage Publications.
- Claas, E. C. J., Osterhaus, A. D. M. E., van Beek, R., De Jong, J. C., Rimmelzwaan, G. F., Senne, D. A., Krauss, S., Shortridge, K. F. und Webster, R. G. (1998): Human Influenza A H5N1 Virus related to a highly pathogenic avian influenza virus. *Lancet* 351, 472–477.
- Clarke, L. (1989): *Acceptable risk? Making choices in a toxic environment*. Berkeley: University of California Press.
- Clausen, L. (Hrsg.) (1993): *Sozialwissenschaften*. In: Plate, E. und Plate, A. (Hrsg.): *Naturkatastrophen und Katastrophenvorbeugung, Bericht des wissenschaftlichen Beirats für das Deutsche IDNDR Komitee*. Weinheim: VCH, 73–147.
- Coenen, R. (1997): Die internationale Klimapolitik und die Klimarahmenkonvention. In: Kopfmüller, J. und Coenen, R. (Hrsg.): *Risiko Klima*. Frankfurt/M.: Campus, 159–200.
- Collingridge, D. (1996): Resilience, flexibility, and diversity in managing the risks of technologies. In: Hood, C. und Jones, D. K. C. (Hrsg.): *Accident and design. Contemporary debates in risk management*. London: UCL-Press, 40–45.
- Connell, J. H. (1978): Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science* 199, 1302–1310.
- Costanza, R. und Perrings, C. (1990): A flexible assurance bonding system for improved environmental management. *Ecological Economics* 2, 57–75.
- Costanza, R., Darge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P. und van den Beld, M. (1997): The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253–260.
- Council on Environmental Quality (1980): *The Global 2000 Report to the President*. Washington, DC: United States Government Printing Office.
- Covello V. T., Menkes, J. und Mumpower, J. (Hrsg.) (1984): *Risk evaluation and management*. New York, London: Plenum Press, 275–296.
- Covello, V. T. (1983): The perception of technological Risks: A literature review. *Technological Forecasting and Social Change* 23, 285–297.
- Covello, V. T. (1991): Risk comparisons and risk communication: Issues and problems in comparing health and environmental risks. In: Kasperson, R. E. und Stallen, P. M. (Hrsg.): *Communicating Risk to the Public*. Dordrecht: Kluwer, 79–124.
- Covello, V. T. (1998): Risk perception, risk communication, and EMF exposure: Tools and techniques for communicating risk information. In: Matthes, R., Bernhardt, J. H. und Repacholi, M. H. (Hrsg.): *Risk perception, risk communication and its application to EMF exposure*. Proceedings of the International Seminar on Risk Perception, Risk Communication and its Application to EMF Exposure. Vienna, Austria, October 22 and 23, 1997. Wien: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection and World Health Organization, 179–213.
- Covello, V. T. und Mumpower, J. (1985): Risk analysis and risk management: A historical perspective. *Risk Analysis* 5 (2), 103–120.
- Crooks, J. und Soulé, M. E. (1996): Lag times in population explosions of invasive species: Causes and implications. In: Sandlund, O. T., Schei, P. J. und Viken, Å. (Hrsg.): *Proceedings of the Norway/UN Conference on Alien Species*, Trondheim, 1–5 July 1996. Trondheim: Directorate for Nature Management (DN). Norwegian Institute for Nature Research (NINA), 39–46.
- Crouch, E. A. C. und Wilson, R. (1982): *Risk benefit analysis*. Cambridge: Ballinger.
- Crutzen, P. (1987): Acid rain at the K/T boundary. *Nature* 330, 108–109.
- D'Antonio, C. M. und Vitousek, P. M. (1992): Biological invasions by exotic grasses, the grass/fire cycle, and global change. *Annual Review of Ecology and Systematics* 23, 63–87.
- Dake, K. (1991): Orienting dispositions in the perceptions of risk: An Analysis of contemporary worldviews and cultural biases. *Journal of Cross-cultural Psychology* 22, 61–82.
- Daviaud, F., Bergé, P., Dubois, M., Lega, J. und Couillet, P. (1992): Spatial-temporal intermittency in a {D} convective pattern: Theoretical model and experiments. *Physica D* 55 (3–4), 287–308.
- David, P. A. (1985): Clio and the economics of QWERTY. *The American Economic Review* 75, 332–337.
- de Garine, I. und Harrison, G. A. (Hrsg.) (1988): *Coping with uncertainty in food supply*. Oxford: Oxford University Press.
- de Geus, A. P. (1992): Modelling to predict or to learn. *European Journal of Operational Research* 59, 1–5.
- de Kathen, A. (1996): *Gentechnik in Entwicklungsländern. Ein Überblick: Landwirtschaft*. Berlin: Umweltbundesamt (UBA).
- deMenocal, P. B. und Bond, G. (1997): Holocene climate less stable than previously thought. *Eos* 78, 447–454.
- Deml, R. (1998): *Risiken der Freisetzung transgener Pflanzen mit verbesserter Insektenresistenz (B.t.-Endotoxine). Externes Gutachten für den WBGU*. Unveröffentlichtes Manuskript.
- Der Rat für Forschung, Technologie und Innovation (1997): *Biotechnologie, Gentechnik und wirtschaftliche Innovation. Rechtliche Grundlagen im Überblick. Bestandsaufnahme, Vollzugsprobleme, Vergleich*. Bonn: Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF).
- Derby, S. L. und Keeney, R. L. (1981): Risk analysis: Understanding „how safe is safe enough“. *Risk Analysis* 1 (3), 217–224.
- Deutsche Stiftung Weltbevölkerung (1998): *Bevölkerung und nachhaltige Entwicklung*. Hannover: Deutsche Stiftung Weltbevölkerung.

- DFG – Deutsche Forschungsgemeinschaft. Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe (1997): MAK- und BAT-Werte-Liste. Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und biologische Arbeitsstofftoleranzwerte. Weinheim: VCH.
- DFG – Deutsche Forschungsgemeinschaft. Senatskommission zur Beurteilung der gesundheitlichen Unbedenklichkeit von Lebensmitteln (1998): Lebensmittel und Gesundheit. Weinheim: Wiley-VCH.
- Dienel, P. C. (1978): Die Planungszelle. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Dienel, P. C. und Renn, O. (1995): Planning Cells: A gate to 'fractal' mediation. In: Renn, O., Webler, T. und Wiedemann, P. (Hrsg.): Fairness and competence in citizen participation. Evaluating New Models for Environmental Discourse. Dordrecht: Kluwer, 117–140.
- Diesfeld, H. J. (1997): Malaria auf dem Vormarsch? Geographische Rundschau 49, 232–239.
- Diffey, B. (1998): Sun-light, skin cancer and ozone depletion. The Globe 42, 10–11.
- Dixon, R. K. und Wisniewski, J. (1995): Global forest systems: An uncertain response to atmospheric pollutants and global climate change? Water, Air and Soil Pollution 85, 101–110.
- Dörner, D. (1989): Die Logik des Mißlingens. Strategisches Denken in komplexen Situationen. Reinbek: Rowohlt.
- Dörner, D. (1993): Denken und Handeln in Unbestimmtheit und Komplexität. Gaia 2 (3), 128–138.
- Douglas, M. (1966): Purity and danger: Concepts of Pollution of Taboo. London: Routledge und Kegan Paul.
- Douglas, M. und Wildavsky, A. (1982): Risk and culture. An essay on the selection of technological and environmental dangers. Berkeley: University of California Press.
- Downing, T. E. (1991): Assessing socio-economic vulnerability to famine. Research Report, Alan Shawn Feinstein Hunger Program. Providence, RI: Brown University.
- Downing, T. E. (1992): Climate change and vulnerable places: Global food security and country studies in Zimbabwe, Kenya, Senegal and Chile. Oxford: Oxford University Press.
- Downing, T. E. (1993): Concepts of vulnerability to hunger and applications for monitoring famine in Africa. In: Bohle, H.-G. (Hrsg.): Coping with vulnerability and criticality. Saarbrücken, Fort Lauderdale: Breitenbach, 205–259.
- Drake, B. G., Gonzales-Meler, M. und Long, S. P. (1997): More efficient plants: A consequence of rising atmosphere CO₂? Annual Reviews of Plant Physiology and Plant Molekular Biology 48, 609–639.
- Drake, J. A., Mooney, H. A., di Castri, F., Groves, R. H., Kruger, F. J., Rejmánek, M. und Williamson, M. (1989) (Hrsg.): Biological invasions. Chichester, New York: Wiley.
- Driesel, A. J. und Danneberg, G. (1996): Stand der Sicherheitsforschung zur Freisetzung transgener Organismen. Berlin: Umweltbundesamt (UBA).
- DRK – Deutsches Rotes Kreuz (1997): Weltkatastrophenbericht des Deutschen Roten Kreuzes. Bonn: DRK.
- Drottz-Sjöberg, B.-M. (1991): Perception of risk. Studies of risk attitudes, perceptions, and definitions. Stockholm: Center for Risk Research.
- Duffing, G. (1918): Erzwungene Schwingungen bei veränderlicher Eigenfrequenz und ihre technische Bedeutung. Braunschweig: Vieweg.
- Dyck, S. und Peschke, G. (1997): Grundlagen der Hydrologie. Berlin: Verlag für Bauwesen.
- Eberhardt, A. (1992): Verfahrensgestaltung der Umweltverträglichkeitsprüfung. Zeitschrift für angewandte Umweltforschung 5 (2), 166–183.
- EC – European Commission (1993): Guidelines for risk analysis of technological systems. Report IEC-CD (Sec) 381 issues by the Technical Committee QMS/23. Brüssel: EC.
- EC – European Commission (1997): Study of nutritional factors in food allergies and food intolerances. Brüssel: EC.
- ECRHS – European Community Respiratory Health Survey (1996): Variations in the prevalence of respiratory symptoms, self-reported asthma attacks and use of asthma medication in the european community respiratory health survey (ecrhs). european respiration journal 9, 687–695..
- Edelstein, M. R. und Wandersman, A. (1987): Community dynamics in coping with toxic contaminants. In: Altman, I. und Wandersman, A. (Hrsg.): Neighborhood and community environments. Band 9. Human Behavior and Environment – Advances in Theory and Research. New York, London: Plenum Press, 69–112.
- Edwards, W. (1954): The theory of decision making. Psychological Bulletin (51), 380–417.
- Edwards, W. (1968): Probabilistic information processing systems: design and evaluation. IEEE Transactions on Systems, Science and Cybernetics. SSC-4, 248–265.
- Edwards, W. (1977): How to use multiattribute utility measurement for social decision making. IEEE Transactions on Systems, Science and Cybernetics. IEEE Transactions on Systems, Science and Cybernetics 1 (2), 326–340.
- Eikenberg, C. (1997): Journalistenhandbuch zum Katastrophenmanagement. Bonn: Deutsches IDNDR Komitee.
- Elliott, E. (1988): Torts with multiple causes under U.S. law. In: Fenyes, A. und Weyers, H.-L. (Hrsg.): Multikausale Schäden in modernen Haftungsrechten. Frankfurt/M.: Metzner, 9–32.
- Endres, A. (1992): Haftpflichtrecht und Verhütung von Umweltschäden. In: Endres, A., Rehbinder, E. und Schwarze, R. (Hrsg.): Haftung und Versicherung für Umweltschäden aus ökonomischer und juristischer Sicht. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1–33.
- Endres, A. (1997): Incentive-based instruments in environmental policy: Conceptual aspects and recent developments. Konjunkturpolitik – Zeitschrift für angewandte Wirtschaftsforschung 43 (4), 299–343.
- Endres, A. und Schwarze, R. (1992): Gibt es Grenzen der Versicherbarkeit von Umweltrisiken? Eine ökonomisch-technische Analyse der Besonderheiten einer Umwelthaftpflicht-Versicherung. In: Endres, A., Rehbinder, E. und Schwarze, R. (Hrsg.): Haftung und Versicherung für Umweltschäden aus ökonomischer und juristischer Sicht. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 83–117.
- Erbguth, W. (1988): Rechtsdogmatische Grundfragen des Umweltrechts. Berlin: Duncker und Humblot.
- Erdmann, G. und Wiedemann, R. (1995): Risikobewertung in der Ökonomik. In: Berg, M., Erdmann, G., Leist, A., Renn, O., Schaber, P., Scheringer, M., Seiler, H. und Wiedemann, R. (Hrsg.): Risikobewertung im Energiebereich. Zürich: Vdf Hochschulverlag, 135–190.
- Eucken, W. (1952): Grundsätze der Wirtschaftspolitik. Tübingen: Mohr.

- Evans, G. und Cohen, S. (1987): Environmental stress. In: Stokols, F. und Altmann, I. (Hrsg.): *Handbook of Environmental Psychology*. Chichester, New York: Wiley.
- Evers, A. (1993): Umgang mit Unsicherheit. Zur sozialwissenschaftlichen Problematisierung einer sozialen Herausforderung. In: Bechmann, G. (Hrsg.): *Risiko und Gesellschaft. Grundlagen und Ergebnisse interdisziplinärer Risikoforschung*. Opladen: Westdeutscher Verlag, 339–374.
- Evers, A. und Nowotny, H. (1987): Über den Umgang mit Unsicherheit. Die Entdeckung der Gestaltbarkeit von Gesellschaft. Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- Ewald, F. (1993): *Der Vorsorgestaat*. Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- Ewen, C., Hahn, L. und Weber, B. (1998): *Resilienzstrategien. Externes Gutachten für den WBGU*. Unveröffentlichtes Manuskript.
- Fangmeier, A., Hadwiger-Fangmeier, A., van der Eerden, L. und Jäger, H.-J. (1994): Effects of atmospheric ammonia on vegetation – a review. *Environmental Pollution* 86, 43–82.
- FAO – Food and Agricultural Organisation (1995): *The digital soil map of the world*. Rom: FAO.
- FAO – Food and Agricultural Organisation (1996): *Code of conduct for the import and release of exotic biological control agents. International Standards for Phytosanitary Measures. Part 1 – Import Regulations*. Rom: FAO. Secretariat of the International Plant Protection Convention.
- FAO – Food and Agricultural Organisation (1998): *FAOSTAT nutrition data*. Internet-Datei <http://apps.fao.org/cgi-bin/nph-db.pl?subset=nutrition>. Rom: FAO.
- Farinelli, L. und Malnoë, P. (1996): Heterologous encapsidation and recombination in transgenic plants containing viral sequences. In: Schulte, E. und Käppeli, O. (Hrsg.): *Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen – Eine Option für die Landwirtschaft? BATS (Biosafety Research and Assessment of Technology Impacts of the Swiss Priority Program Biotechnology) – TA Hefte*. Bern: Schweizerischer Nationalfonds, 193–252.
- Feinberg, M. (1980): Chemical Oscillations, Multiple equilibria and reaction network structure. In: Warren, E., Stewart, W., Ray, W.-H. und Conley, C.-C. (Hrsg.): *Dynamics and modeling of reactive systems*. New York: Academic Press, 59ff.
- Femers, S. und Jungermann, H. (1991): *Risikoindikatoren. Eine Systematisierung und Diskussion von Risikomaßen und Risikovergleichen. Arbeiten zur Risiko-Kommunikation*. Jülich: Forschungszentrum Jülich.
- Findenegg, K. und Karl, H. (1998): *Gefährdungshaftung und Innovation: Probleme der Haftung für Entwicklungsrisiken*. Jena: Universität Jena. Unveröffentlichtes Gutachten.
- Fiorino, D. J. (1989): Technical and democratic values in risk analysis. *Risk Analysis* 9 (3), 293–299.
- Fischer, D. (1973): *Kosten-Nutzen-Analyse – Hilfe für rationale Entscheidungen*. Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft 129, 230–245.
- Fischhoff, B. (1996): Public values in risk research. In: Kunreuther, H. und Slovic, P. (Hrsg.): *Challenges in risk assessment and risk management. Annals of the American Academy of Political and Social Science. Special Issue*. Thousand Oaks: Sage, 75–84.
- Fischhoff, B., Slovic, P. und Lichtenstein, S. (1985): Weighing the risks. In: Kates, R. W., Hohenemser, C. und Kaspersen, J. X. (Hrsg.): *Perilous progress: Managing the hazards of technology*. Boulder: Westview, 265–283.
- Fischhoff, B., Slovic, P., Lichtenstein, S., Derby, S. L. und Keeney, R. L. (1981): *Acceptable risk*. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- Fischhoff, B., Slovic, P., Lichtenstein, S., Read, S. und Combs, B. (1978): How safe is safe enough? A psychometric study of attitudes toward technological risks and benefits. *Policy Sciences* 9, 127–152.
- Fischhoff, B., Watson, S. R. und Hope, C. (1984): Defining risk. *Policy Sciences* 17, 123–129.
- Fitchen, J. M., Heath, J. S. und Fessenden-Raden, J. (1987): Risk perception in community context: A case study. In: Johnson, B. B. und Covello, V. T. (Hrsg.): *The social and cultural construction of risk. Essays on Risk Selection and Perception*. Dordrecht: Reidel, 31–49.
- Flaig, H. und Mohr, H. (1996): *Der überlastete Stickstoffkreislauf: Strategien einer Korrektur*. Nova Acta Leopoldina. Nummer 289. Band 70. Leipzig, Heidelberg: Barth.
- Foster, D. R., Aber, J. D., Melillo, J. M., Bowden, R. D. und Bazzaz, F. A. (1997): Forest response to disturbance and anthropogenic stress. *Bioscience* 47, 437–445.
- Fowlkes, M. und Miller, P. (1987): Chemicals and community at Love Canal. In: Johnson, B. B. und Covello, V. T. (Hrsg.): *The social and cultural construction of risk. Essays on Risk Selection and Perception*. Dordrecht: Reidel, 55–80.
- Fox, G., Gilman, A., Peakall, D. und Anderka, F. (1978): Behavioral abnormalities of nestling Lake Ontario gulls. *Journal of Wildlife Management* 42 (3), 477–483.
- Franck-Oberaspach, S. und Keller, B. (1996): *Produktesicherheit von krankheitsresistenten Nutzpflanzen: Toxikologie, allergenes Potential, Sekundäreffekte und Markergene*. In: Schulte, E. und Käppeli, O. (Hrsg.): *Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen – Eine Option für die Landwirtschaft? BATS (Biosafety Research and Assessment of Technology Impacts of the Swiss Priority Program Biotechnology) – TA Hefte*. Bern: Schweizerischer Nationalfonds, 17–100.
- Freemann, P. K. und Kunreuther, H. (1997): *Managing environmental risk through insurance*. Dordrecht: Kluwer.
- Friehe, H.-J. (1992): Der Ersatz ökologischer Schäden nach dem Konventionsentwurf des Europarates zur Umwelthaftung. *Natur und Recht* 14 (10), 453–459.
- Friehe, H.-J. (1995): Die Europarats-Konvention zur Umwelthaftung. *Natur und Recht* 14 (10), 512–515.
- Fritzsche, A. F. (1986): *Wie sicher leben wir? Risikobeurteilung und -bewältigung in unserer Gesellschaft*. Köln: TÜV Rheinland.
- Frowein, J. A. (1991): Kapitel VII. Maßnahmen bei Bedrohung oder Bruch des Friedens. In: Simma, B. (Hrsg.): *Charta der Vereinten Nationen*. München: Beck, 559–595.
- Führ, M. (1994): Proaktives unternehmerisches Handeln – Unverzichtbarer Beitrag zum präventiven Stoffstrommanagement. *Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht* 17 (4), 445–472.
- Gägen G. (1963): *Theorie der wirtschaftlichen Entscheidung*. Tübingen: Mohr.
- Gallo, R. C. und Reitz jr., M. S. (1985): The first human retroviruses: Are there others? *Microbiological Science* 2, 101–104.
- Ganten, R. (1997): *Internationale Gefährdungshaftung beim See-*

- transport. *Transportrecht* 1997, 397–403.
- Gawel, E. (1997): Reguliertes Wissen um Unwissen. Zur Generierung und Distribution von Risikoinformationen aus ökonomischer Sicht. In: Hart, D. (Hrsg.): *Privatrecht im „Risikostaat“*. Baden-Baden: Nomos, 265–323.
- GDCh – Gesellschaft deutscher Chemiker (o. J.): Informationsbroschüre der Gesellschaft deutscher Chemiker. Frankfurt: GDCh.
- Gebhard, F. und Smalla, K. (1998): Transformation of *Acinetobacter* sp. Strain BD413 by transgenic sugar beet DNA. *Applied and Environmental Microbiology* 64 (4), 1550–1554.
- Gersonde, R., Kyte, F. T., Bleil, U., Diekmann, B., Flores, J. A., Gohl, K., Grahl, G., Hagen, R., Kuhn, G., Sierro, F. J., Völker, D., Abelmann, A. und Bostwick, J. A. (1997): Geological record and reconstruction of the late Pliocene impact of the Eltanin asteroid in the Southern Ocean. *Nature* 390, 357–363.
- Gethmann, C. F. (1993): Zur Ethik des Handelns unter Risiko im Umweltstaat. In: Gethmann, C. F. und Klöpfer, M. (Hrsg.): *Handeln unter Risiko im Umweltstaat*. Berlin: de Gruyter, 1–54.
- Giam, C. S., Atlas, E., Powers, M. A. und Leonard, J. E. (1984): Phthalic acid esters. In: Hutzinger, O. (Hrsg.) (1984): *Handbook of environmental chemistry*. Band 3C. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 67–142.
- Giegel, H.-J. (1992): Kommunikation und Konsens in modernen Gesellschaften. In: Giegel, H.-J. (Hrsg.): *Kommunikation und Konsens in modernen Gesellschaften*. Frankfurt/M.: Suhrkamp, 7–17.
- Giles, G. G., Armstrong, B. K., Burton, R. C., Staples, M. P. und Thursfield, V. J. (1996): Has mortality from melanoma stopped rising in Australia? *Analysis of Trends Between 1931 and 1994*. *BMJ* 312, 1121–1125.
- Godt, C. (1997): Haftung für ökologische Schäden. Verantwortung für Beeinträchtigungen des Allgemeingutes Umwelt durch individualisierbare Verletzungshandlungen. Berlin: Duncker & Humblot.
- Gould, L. C., Gardner, G. Y., DeLuca, D. R., Tieman, A., Doob, L. W. und Stoltwijk, J. A. J. (1988): *Perceptions of technological risk and benefits*. New York: Russell Sage Foundation.
- Graham, J. D., Green, L. C. und Roberts, M. J. (1988): *In search of safety. Chemicals and Cancer Risk*. Cambridge, Ma.: Harvard University Press.
- Grebogi, C. und Kurths, J. (Hrsg.) (1995): *Structure formation in continuous dynamical systems. Special Issue of Chaos Solitons & Fractals*. Amsterdam: Elsevier.
- Greene, A. E. und Allison, R. F. (1994): Recombination between viral RNA and transgenic plant transcripts. *Science* 263, 1423–1425.
- Gregory, P., Ingram, J., Campbell, B., Goudriaan, J., Hunt, T., Landsberg, J., Linder, S., Smith, M. S., Sutherst, B. und Valentin, C. (1998): *Managed production systems*. In: Walker, B., Steffen, W., Canadell, J. und Ingram, J. (Hrsg.): *The terrestrial biosphere and global change*. Cambridge, New York: Cambridge University Press (im Druck).
- Grime, J. P. (1977): Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *American Naturalist* 111, 1169–1194.
- Grünewald, U. (1998): *Interdisziplinäre Studie zu Ursachen, Verlauf und Folgen des Sommer-Hochwassers 1997 an der Oder sowie Aussagen zu bestehenden Risikopotentialen*. Cottbus: IDNDR.
- Guckenheimer, J. und Holmes, P. (1990): *Nonlinear oscillations, dynamical systems, and bifurcations of vector fields*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Gülden, M., Turan, A. und Seibert, H. (1997): *Substanzen mit endokriner Wirkung in Oberflächengewässern*. Berlin: Umweltbundesamt (UBA).
- Gundersen, P., Emmett, B. A., Kjonaas, O. J., Koopmans, C. J. und Tietema, A. (1998): Impact of nitrogen deposition on nitrogen cycling in forests – A synthesis of Nitrex data. *Forest Ecology and Management* 101 (1-3), 37–55.
- Guski, R., Matthies, E. und Höger, R. (1991): *Psychosomatische Auswirkungen von Altlasten und deren Sanierung auf die Wohnbevölkerung*. Bochum: Ruhr-Universität.
- Habermas, J. (1971): Vorbereitende Bemerkungen zu einer Theorie der kommunikativen Kompetenz. In: Habermas, J. und Luhmann, N. (Hrsg.): *Theorie der Gesellschaft oder Sozialtechnologie. Was leistet die Systemforschung?* Frankfurt/M.: Suhrkamp, 101–141.
- Habermas, J. (1992): Faktizität und Geltung. Beiträge zur Diskurstheorie des Rechts und des modernen Rechtsstaates. Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- Häfele, W., Renn, O. und Erdmann, H. (1990): Risiko, Unsicherheit und Undeutlichkeit. In: Häfele, W. (Hrsg.): *Energiesysteme im Übergang – Unter den Bedingungen der Zukunft*. Landsberg/Lech: Poller, 373–423.
- Hager, J. (1997): Europäisches Umwelthaftungsrecht. *Zeitschrift für Europäisches Privatrecht* 5 (1) 9–40.
- Hahn, H. (1995): International controls. In: Bernhardt, R. (Hrsg.): *Encyclopedia of International Law*. Amsterdam: Elsevier, 1079–1084.
- Hailbronner, K. (1995): International Civil Aviation Organization. In: Bernhardt, R. (Hrsg.): *Encyclopedia of International Law*. Amsterdam: Elsevier.
- Haines, A. und McMichael, A. (1998): Focus on global change and human health. *The Globe* 42, 1–3.
- Haller, M. (1990): Risiko-Management und Risiko-Dialog. In: Schüz, M. (Hrsg.): *Risiko und Wagnis: Die Herausforderung der industriellen Welt*. Band 1. Pfullingen: Neske, 229–256.
- Hampel, J. (1998): *Die europäische Öffentlichkeit und die Gentechnik. Arbeitsbericht Nr. 111 der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg*. Stuttgart: Akademie für Technikfolgenabschätzung.
- Hampel, J., Keck, G., Peters, H. P., Pfenning, U., Renn, O., Ruhrmann, G., Schenk, M., Sonje, H. D., Stegat, B., Urban, D., Wiedemann, P. M. und Zwick, M. (1997): *Einstellungen zur Gentechnik. Tabellenband zum Biotech-Survey des Forschungsverbunds „Chancen und Risiken der Gentechnik aus der Sicht der Öffentlichkeit“*. Arbeitsbericht Nr. 87 der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg. Stuttgart: Akademie für Technikfolgenabschätzung.
- Hampicke, U. (1991): *Kosten und Wertschätzung des Arten- und Biotopschutzes*. UBA Forschungsbericht 3/91. Berlin: Schmidt.
- Hansmeyer, K.-H. und Rürup, B. (1975): *Staatwirtschaftliche Planungsinstrumente*. Tübingen: Mohr.
- Harriss, R. C., Hohenemser, C. und Kates, R. W. (1979): The burden of technological hazards. In: Goodman, G. T. und Rowe, W. D. (Hrsg.): *Energy Risk Management*. London: Academic Press, 103–138.
- Hartkopf, G. und Boehme, E. (1983): *Die Ausgangssituation*

- unserer Umweltpolitik. Aus Politik und Zeitgeschichte 42, 3-12.
- Hartwig, S. (1998): Anwendung des Risikomanagements im Bereich Technik/Technologie zur Minderung globaler Umweltrisiken. Externes Gutachten für den WBGU. Unveröffentlichtes Manuskript.
- Hartwig, S. (1998): Infrared active gases are likely to change the dynamics and the stability of the atmosphere. Atmospheric Environment (im Druck).
- Harvey, C. M. (1985): Decision analysis models for risk in distant futures. In: Lave, L. B. (Hrsg.): Risk assessment and management. New York, London: Plenum Press, 509-558.
- Hattis, D. und Minkowitz, W. S. (1997): Risk evaluation: Legal requirements, conceptual foundations, and practical experiences in the United States. Arbeitsbericht Nr. 93 der Akademie für Technikfolgenabschätzung. Stuttgart: Akademie für Technikfolgenabschätzung.
- Hauptmanns, U. (1997): Risk assessment in the Federal Republic of Germany. Arbeitsbericht Nr. 94 der Akademie für Technikfolgenabschätzung. Stuttgart: Akademie für Technikfolgenabschätzung.
- Hauptmanns, U., Hertztrich, M. und Werner, W. (1987): Technische Risiken: Ermittlung und Beurteilung. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Hazard, B. und Seidel, G. (1993): Informationsbedingte und psychosoziale Ursachen für die Angst vor Gesundheitsschäden durch Radon. In: Aurand, K., Hazard, B. und Tretter, F. (Hrsg.): Umweltbelastungen und Ängste. Opladen: Westdeutscher Verlag, 113-132.
- Hecht, D. (1998): Stoffpolitik jenseits des Dirigismus. In: Klemmer, P., Becker-Soest, D. und Wink, R. (Hrsg.): Liberale Grundrisse einer zukunftsfähigen Gesellschaft. Baden-Baden: Nomos, 409-425.
- Hegerl, G. C., Hasselmann, K., Cubasch, U., Mitchell, J. F. B., Roeckner, E., Voss, R. und Waszkewitz, J. (1997): On Multi-fingerprint detection and attribution of greenhouse gas and aerosol forced climate change. Climate Dynamics 13, 613-634.
- Heidenreich, B. (1998): Horizontaler Gentransfer. In: UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.): Nutzung der Gentechnik im Agrarsektor der USA. UBA Texte 47/98. Band 1. Berlin: UBA, 157-237.
- Hemmelskamp, J. (1997): Umweltpolitik und Innovation – Grundlegende Begriffe und Zusammenhänge. Zeitschrift für Umweltpolitik & Umweltrecht 20 (4), 481-511.
- Hemmelskamp, J. und Neuser, U. (1994): Die EG-Umwelt-Audit-Verordnung – Anreiz zu Innovationen oder zu potemkinischen Dialogen? Environmental Economics and Logistics Series. Mannheim: Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW).
- Hendrickx, F., Koester, V. und Prip, C. (1993): Convention on Biological Diversity access to genetic resources: A legal analysis. Environmental Policy and Law 23 (6), 250ff.
- Herbst, C. (1996): Risikoregulierung durch Umwelthaftung und Versicherung. Berlin: Duncker & Humblot.
- Herd, R. M., Tidman, M. J., Prescott, R. J. und Hunter, J. A. A. (1996): The cost of atopic eczema. British Journal of Dermatology 135, 20-23.
- Hermanns, K. (1998): Das Öko-Audit – Aktuelle Trends. Zeitschrift für angewandte Umweltforschung 11 (2), 287-289.
- Hester, G. L. (1998): Mental models and EMF risk perceptions of the U.S. general public. In: Matthes, R., Bernhardt, J. H. und Repacholi, M. H. (Hrsg.): Risk perception, risk communication and its application to EMF exposure. Proceedings International Seminar on Risk Perception, Risk Communication and its Application to EMF Exposure, Vienna, Austria, October 22 and 23, 1997. Wien: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection and World Health Organization (WHO), 243-251.
- Heywood, V. H. und Watson, R. T. (Hrsg.) (1995): Global Biodiversity Assessment. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- HHS – United States Department of Health and Human Services (1993): DEHP – toxicological profile. Washington, DC: HHS.
- Hilbeck, A., Baumgartner, M., Padruot, M. F. und Bilger, F. (1998): Effects of transgenic *Bacillus thuringiensis* corn-fed prey on mortality and development time of immature *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). Environmental Entomology 27 (2), 480-487.
- Hinman, G. W., Rosa, E. A., Kleinhesselink, R. R. und Lowinger, T. C. (1993): Perception of nuclear and other risks in Japan and the United States. Risk Analysis 13, 449-456.
- Hoberg, G. (1994): Risk, Science, and Politics. Regulating toxic substances in Canada and the United States. Montreal: McGill-Queen's University Press.
- Hocken, E. (1995): Reaktorsicherheit. In: Michaelis, H. und Sallander, C. (Hrsg.): Handbuch Kernenergie. Kompendium der Energiewirtschaft und Energiepolitik. Frankfurt: VWEW, 603-669.
- Hoffmann-Riem, W. und Eifert, M. (1995): Umweltpolitische Kooperation. In: Junkerheinrich, M., Klemmer, P. und Wagner, G. R. (Hrsg.): Handbuch zur Umweltökonomie. Berlin: Analytica, 318-327.
- Hohenemser, C., Kasperson, R. E. und Kates, R. W. (1985): Causal structure. In: Kates, R. W., Hohenemser, C. und Kasperson, J. X. (Hrsg.): Perilous progress. Managing the Hazards of Technology. Boulder, London: Westview Press, 25-43.
- Hohenemser, C., Kates, R. W. und Slovic, P. (1983): The nature of technological hazard. Science 220, 378-384.
- Hohloch, G. (1994): Entschädigungsfonds auf dem Gebiet des Umwelthaftungsrechts: rechtsvergleichende Untersuchung zur Frage der Einsatzfähigkeit einer „Fondslösung“. Berlin: Schmidt.
- Holling, C. S., Peterson, G., Sendzimir, J., Redford, K., Gundersen, L. und Lambert, D. (1996): Self-organization in ecosystems: Lumpy geometries, periodicities and morphologies. In: Walker, B. und Steffen, W. (Hrsg.): Global Change and Terrestrial Ecosystems. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 346-384.
- Holzheu, F. (1987): Gesellschaftliche Verfahren zur Bewältigung von Unsicherheit. In: Bayerische Rückversicherung (Hrsg.): Gesellschaft und Unsicherheit. Karlsruhe: Versicherungswirtschaft e.V., 11-36.
- Holzheu, T. (1994): Umweltpolitik durch Haftungsregeln: Schadensverhütung und Risikoallokation. München: VVF.
- Hood, C. und Jones, D. K. C. (Hrsg.) (1996): Accident and design. Contemporary debates in risk management. London: UCL-Press.
- Hood, C. C., Jones, D. K. C., Pidgeon, N. F., Turner, B. A. und Gibson, R. (1992): Risk management. In: Royal Society Study Group (Hrsg.): Risk analysis, perception and management. London: The Royal Society, 135-192.

- Horner, R. A., Garrison, D. L. und Plumley, F. G. (1997): Harmful algal blooms and red tide problems on the U.S. West Coast. *Limnology and Oceanography* 42 (5 Teil 2), 1076–1088.
- Houghton, R. A., Davidson, E. A. und Woodwell, G. M. (1998): Missing sinks, feedbacks, and understanding the role of terrestrial ecosystems in the global carbon balance. *Global Biogeochemical Cycles* 12, 25–38.
- Hoyt, E. (1992): *Conserving the wild relatives of crops*. Gland, Genf: The World Conservation Union (IUCN) und World Wide Fund for Nature (WWF).
- Hungate, B. A., Chapin III, F. S., Zhong, H., Holland, E. A. und Field, C. B. (1997): Stimulation of grassland nitrogen cycling under carbon dioxide enrichment. *Oecologia* 109, 149–153.
- Hungerbühler, K., Ranke, J. und Mettler, T. (1998): *Chemische Produkte und Prozesse. Grundkonzepte zum umweltorientierten Design*. Heidelberg, Berlin, New York: Springer.
- Huss-Ashmore, R. und Katz, S. H. (Hrsg.) (1989): *African food systems in crisis: Part One: Microperspectives. Food and Nutrition in History and Anthropology. Band 7*. New York, London, Paris: Gordon and Breach.
- IAEA – International Atomic Energy Agency (1995): *Guidelines for integrated risk assessment and management in large industrial areas*. Technical Document: IAEA-TECDOC PGVI-CIJV. Wien: IAEA.
- IDNDR – Deutsches Komitee zur Katastrophenvorbeugung (1993): *Naturkatastrophen und Katastrophenvorbeugung. Bericht des Wissenschaftlichen Beirats der DFG für das Deutsche Komitee für die „International Decade for Natural Disaster Reduction“*. Weinheim: VCH.
- IFCS – International Forum on Chemical Safety (1997): *Forum II. Second session of the Intergovernmental Forum on Chemical Safety. Final Report*. Document IFCS/FORUM-II/97.25w. Genf: World Health Organisation (WHO).
- IKSR – Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (1995): *Grundlagen und Strategie zum Aktionsplan Hochwasser*. Koblenz: IKSR.
- IKSR – Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (1997): *Hochwasserschutz am Rhein. Bestandsaufnahme*. Koblenz: IKSR.
- IKSR – Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (1998): *Aktionsplan Hochwasser*. Koblenz: IKSR.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (1990): *Climate change: The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (1995): *Climate change 1994*. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- IPCC – International Panel on Climate Change (1996a): *Climate change 1995 – The science of climate change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- IPCC – International Panel on Climate Change (1996b): *Climate change 1995 – Impacts, adaptations and mitigation of climate change: Scientific-technical analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- IPCC – International Panel on Climate Change (1996c): *Climate change 1995. Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the IPCC*. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- IPCC – International Panel on Climate Change (1997): *The regional impacts of climate change. An Assessment of vulnerability*. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- IPCC – International Panel on Climate Change (1998): *The regional impacts of climate change. An Assessment of vulnerability. A Special Report of IPCC Working Group II*. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- Ipsen, K. (1989): *Prävention oder Reaktion? Sicherheitsmaßnahmen und Sicherheitsstandards im Rahmen der Internationalen Atomenergie-Organisation und die Konvention über kerntechnische Unfälle vom 26.9.1986*. Festschrift Fabricius. Stuttgart: Boorberg, 315–376.
- Irwin, A. (1997): *Risk, The environment and environmental knowledge*. In: Redclift, M. und Woodgate, G. (Hrsg.): *The International Handbook of Environmental Sociology*. Cheltenham: Edward Elgar, 218-226.
- Isaac, N. (1998): *World-wide variation in prevalence of symptoms of asthma, allergic rhinoconjunctivitis in atopic eczema*. *The Lancet* 351, 1225–1232.
- Isermann, K. (1993): *Territorial, Continental and global aspects of C, N, P and S emissions from agricultural ecosystems*. In: Wollast, R., Mackenzie, F. T. und Chow, L. (Hrsg.): *Interactions of C, N, P and S biogeochemical cycles and global change*. NATO ASI Series. Band 1. Global Environmental Change. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 79-121.
- IUCN – The World Conservation Union und Weltbank (1997): *Large dams: Looking from the past, looking at the future*. Gland und Washington, DC: IUCN und Weltbank.
- Jakarta Post Redaktion (20.02.1998): *Export of rattan not profitable*. Jakarta: Jakarta Post.
- Janis, I. L. (1972). *Victims of Groupthink: A psychological study of foreign policy decisions and fiascoes*. Boston, MA: Houghton-Mifflin.
- Jansen, W. (1995): *CANDYS/QA – Algorithms, programs, and user's manual*. Technical. Potsdam: Universität Potsdam. Interdisziplinäres Zentrum für nichtlineare Dynamik.
- Jany, K.-D. (1998): *Gentechnik und Lebensmittel*. In: *Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland* (Hrsg.): *Gen-Welten*. Bonn: Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland, 117-130.
- Japp, K. P. (1992): *Selbstverstärkungseffekte riskanter Entscheidungen. Zur Unterscheidung von Rationalität und Risiko*. *Zeitschrift für Soziologie* 21, 31–48.
- Jarass, H. (1993): *Der Vollzug von Umweltrecht in den USA*. *Natur und Recht* 15 (5), 197–202.
- Jessen, B. (1996): *Der Flutaktionsplan in Bangladesh*. In: Harnisch, R. und Moßmann, P. (Hrsg.): *Katastrophen und ihre Bewältigung in den Ländern des Südens*. Hamburg: Deutsches Übersee-Institut.
- Johnson, B. B. und Covello, V. T. (Hrsg.) (1987): *The social and cultural construction of risk. Essays on Risk Selection and Perception*. Dordrecht: Reidel.
- Jonas, H. (1979): *Das Prinzip der Verantwortung. Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation*. Frankfurt/M.: Insel.
- Jonas, H. (1990): *Das Prinzip Verantwortung*. In: Schüz, M. (Hrsg.): *Risiko und Wagnis. Die Herausforderung der industriellen Welt*. Band 2. Pfullingen: Neske, 166–181.

- Jungermann, H. (1986): Technische Systeme und menschliches Urteil. In: Held, M. und Molt, W. (Hrsg.): Technik von gestern für die Ziele von morgen? Energiepolitische Orientierungen auf dem Weg zur postmaterialistischen Gesellschaft. Opladen: Westdeutscher Verlag, 104–112.
- Jungermann, H. (1991): Inhalte und Konzepte der Risiko-Kommunikation. In: Jungermann, H., Rohrmann, B. und Wiedemann, P. M. (Hrsg.): Risikokontroversen. Konzepte, Konflikte, Kommunikation. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 335–354.
- Jungermann, H. und Slovic, P. (1993a): Charakteristika individueller Risikowahrnehmung. In: Bayerische Rückversicherung (Hrsg.): Risiko ist ein Konstrukt. Wahrnehmungen zur Risikowahrnehmung. München: Knesebeck, 89–107.
- Jungermann, H. und Slovic, P. (1993b): Die Psychologie der Kognition und Evaluation von Risiko. In: Bechmann, G. (Hrsg.): Risiko und Gesellschaft. Grundlagen und Ergebnisse interdisziplinärer Risikoforschung. Opladen: Westdeutscher Verlag, 167–207.
- Jungermann, H., Pfister, H.-R. und Fischer, K. (1998): Die Psychologie der Entscheidung. Eine Einführung. Heidelberg, Berlin: Spektrum.
- Jungermann, H., Rohrmann, B. und Wiedemann, P. M. (1991): Risikokontroversen. Konzepte, Konflikte, Kommunikation. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Kadner, T. (1995): Der Ersatz ökologischer Schäden – Ansprüche von Umweltverbänden. Berlin: Duncker & Humblot.
- Kahn, J. und Rockel, M. (1988): Measuring the economic effects of brown tides. *Journal of Shellfish Research* 7, 229–239.
- Kahnemann, D. und Tversky, A. (1974): Judgment under uncertainty. Heuristics and biases. *Science* 185, 1124–1131.
- Kahneman, D., Slovic, P. und Tversky, A. (1982): Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kai, S. (1992): Pattern formation in complex dissipative systems: Fluid patterns, liquid crystals, chemical reactions. *Kitakyushu: World Scientific Publication Company*.
- Kaiser, G., Wiedmann, T. und Ballschmiter, K. (1998): Organische Spurenstoffe als Emissionen aus Verbrennungsanlagen und deren humantoxikologische und ökotoxikologische Einordnung. Teil 2. Humantoxikologische und ökotoxikologische Einordnung. Arbeitsbericht der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg (AFTA) Nr. 102. Stuttgart: AFTA.
- Kaplan, S. und Garrick, J. B. (1993): Die quantitative Bestimmung von Risiko. In: Bechmann, G. (Hrsg.): Risiko und Gesellschaft. Grundlagen und Ergebnisse interdisziplinärer Risikoforschung. Opladen: Westdeutscher Verlag: Opladen, 91–124.
- Karbe, L. (1997): Auswirkungen von Umwelthormonen auf das Ökosystem. In: GSF – Gesellschaft für Umweltsystemforschung (Hrsg.): Umweltchemikalien mit hormoneller Wirkung. Neuberger: GSF, 2–7.
- Kareiva, P. (1993): Transgenic plants on trail. *Nature* 363, 580–581.
- Karl, H. (1987): Ökonomie öffentlicher Risiken in Marktwirtschaften. *Wirtschaftswissenschaftliches Studium* 16 (5), 217–223.
- Karl, H. (1992): Öko-Audits – Ein sinnvolles Informationskonzept für Umweltbelastungen? *Wirtschaftsdienst* 72 (7), 368–373.
- Karl, H. (1993): Europäische Initiative für die Einführung von Umweltschutz-Audits – Kritische Würdigung aus ökonomischer Sicht. *List-Forum für Wirtschafts- und Finanzpolitik* 19 (3), 207–220.
- Karl, H. (1994): Marktsystem und risikoreiche Produktionstechnik. Bochum: Universität Bochum. Unveröffentlichte Habilitationsschrift.
- Kasperson, J., Kasperson, R. E. und Turner, B. L. (Hrsg.) (1995): Regions at risk – Comparisons of threatened environments. *UNU Studies on Critical Environmental Regions*. Tokyo, New York: United Nations University Press.
- Kasperson, R., Renn, O., Slovic P., Brown, H. S., Emel, J., Goble, R., Kasperson, J. X. und Ratick, S. (1988): The social amplification of risk. A Conceptual Framework. *Risk Analysis* 8 (2), 177–187.
- Kates, R. W. und Kasperson, J. X. (1983): Comparative risk analysis of technological hazards. A Review. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 80, 7027.
- Keeney, R. L., Renn, O., von Winterfeldt, D. und Kotte, U. (1984): Die Wertbaumanalyse. München, Essen: HTV.
- Kelman, S. (1981): Cost-benefit analysis: An ethical critique. *Regulation* 5, 33–40.
- Kepplinger, H. (1989): Künstliche Horizonte. Folgen, Darstellungen und Akzeptanz von Technik in der Bundesrepublik. Frankfurt/M.: Campus.
- Kerber, W. (1998): Weiterentwicklung der gesellschaftlichen Wissensbasis. In: Klemmer, P., Becker-Soest, D. und Wink, R. (Hrsg.): Liberale Grundrisse einer zukunftsfähigen Gesellschaft. Baden-Baden: Nomos, 117–134.
- Kideys, A. E. (1994): Recent dramatic changes in the Black Sea ecosystem: The Reason for the sharp decline in Turkish anchovy fisheries. *Journal of Marine Systems* 5 (2), 171–181.
- Kimmins, J. P. (1987): Forest ecology. New York: Macmillan.
- Kinkel, K. (1989): Bewältigung von umwelttypischen Distanz- und Summationsschäden. *Zeitschrift für die Rechtspraxis* (8), 293–298.
- Kinney, K. K., Lindroth, R. L., Jung, S. M. und Nordheim, E. V. (1997): Effects of CO₂ and NO₃ availability on deciduous trees: Phytochemistry and insect performance. *Ecology* 78, 215–230.
- Klages, H. (1984): Wertorientierungen im Wandel. Frankfurt/M.: Campus.
- Klass, J. (1997): Zum Stand der Umwelthaftung in Deutschland. *Umwelt- und Planungsrecht* 17 (4), 134–144.
- Kleindorfer, P. R. und Kunreuther, H. (1987): Insurance and compensation as policy instruments for hazardous waste management. In: Kleindorfer, P. R. und Kunreuther, H. (Hrsg.): Insuring and managing hazardous risks: From Seveso to Bhopal and beyond. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 145–172.
- Kleiner, K. (1997): Monsanto's cotton gets the Mississippi Blues. *New Scientist* 156 (2106), 4.
- Kleinhesselink, R. R. und Rosa, E. A. (1991): Cognitive representation of risk perceptions – A Comparison of Japan and the United States. *Journal of Cross-cultural Psychology* 22, 11–28.
- Kleinwelfonder, B. (1996): Der Risikodiskurs. Zur gesellschaftlichen Inszenierung von Risiko. Opladen: Westdeutscher Verlag.

- Klemmer, P. (1990): Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit: Grenzen der Belastbarkeit der Unternehmen. Berlin: Dunker & Humblot.
- Klemmer, P. und Meuser, T. (1995): Das EG-Umweltaudit – Eine Einführung. In: Klemmer, P. und Meuser, T. (Hrsg.): EG-Umweltaudit – Der Weg zum ökologischen Zertifikat. Wiesbaden: Gabler, 17-35.
- Klemmer, P., Becker-Soest, D. und Wink, R. (1998a): Liberale Grundrisse einer zukunftsfähigen Gesellschaft – ein zusammenfassender Überblick. In: Klemmer, P., Becker-Soest, D. und Wink, R. (Hrsg.): Liberale Grundrisse einer zukunftsfähigen Gesellschaft. Baden-Baden: Nomos, 9-23.
- Klemmer, P., Becker-Soest, D. und Wink, R. (1998b): Liberalismus. Grundvoraussetzung zukunftsfähiger Entwicklungen. In: Klemmer, P., Becker-Soest, D. und Wink, R. (Hrsg.): Liberale Grundrisse einer zukunftsfähigen Gesellschaft. Baden-Baden: Nomos, 27-43.
- Kletecka, A. (1997): Der Entwurf eines Gentechnikhaftungsgesetzes. *ecolex* 8, 572–573.
- Klodt, H. (1995): Grundlagen der Forschungs- und Technologiepolitik. München: Franz Vahlen 1995.
- Kloepfer, M. und Durner, W. (1997): Der Umweltgesetzbuch-Entwurf (KomE). *Deutsches Verwaltungsblatt* 112 (18), 1081–1107.
- Knight, F. (1921): Risk, uncertainty and profit. New York: Kelley.
- Knorr, C. und von Schell, T. (Hrsg.) (1997): Mikrobieller Schadstoffabbau – ein interdisziplinärer Ansatz. Wiesbaden: Vieweg.
- Koch, G. W. und Mooney, H. A. (Hrsg.) (1996): Carbon dioxide and terrestrial ecosystems. San Diego: Academic Press.
- Koch, H.-J. (1996): Vereinfachung des materiellen Umweltrechts. *Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht* (3), 215–222.
- Koch, R. (1989): Umweltchemikalien. Weinheim: VCH.
- Kolluru, R. V. (1995): Risk assessment and management: A unified approach. In: Kolluru, R. V., Bartell, S., Pitblate, R. und Stricoff, S. (Hrsg.): Risk Assessment and Management Handbook. For Environmental, Health, and Safety Professionals. New York: McGraw Hill, 1.3–1.41.
- Kolluru R. V. und Brooks, D. G. (1995): Integrated risk assessment and strategic management. In: Kolluru, R. V., Bartell, S., Pitblate, R. und Stricoff, S. (Hrsg.): Risk Assessment and Management Handbook. For Environmental, Health, and Safety Professionals. New York: McGraw Hill, 2.1–2.23.
- Korell, M., Schittenhelm, S. und Weigel, H.-J. (1997): Aufstellen von Kriterien für die nachhaltige umweltgerechte Nutzung gentechnisch veränderter Kulturpflanzensorten. Berlin: Umweltbundesamt (UBA).
- Körner, C. und Bazzaz, F. A. (Hrsg.) (1996): Carbon dioxide, populations, and communities. San Diego: Academic Press.
- Koschnick, H. (1997): Vorsorge trotz leerer Kassen. Naturkatastrophen und ihre Auswirkungen auf Menschen in Entwicklungsländern. *Welternährung. Zeitung der Deutschen Welthungerhilfe* 26 (4), 1.
- Kröger, W. (1991): Beschreibung der nuklearen Risiken – ein Lehrstück. In: Schneider, J. (Hrsg.): Risiko und Sicherheit technischer Systeme. Basel: Birkhäuser, 59-68.
- Kröger, W. (1998): Kann Kernenergie nachhaltig sein? *STZ Technik aktuell* 4, 22-27.
- Kowarik, I. (1995): On the role of alien species in urban flora and vegetation. In: Pysek, P., Prach, K., Rejmánek, M. und Wade, M. (Hrsg.): Plant Invasions. Amsterdam: SPB Academic Publishing, 85–103.
- Kowarik, I. (1996): Auswirkungen von Neophyten auf Ökosysteme und deren Bewertung. In: UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.): Langzeitmonitoring von Umwelteffekten transgener Organismen – Arbeitstagung am 5./6. Oktober 1995. Berlin: UBA, 119–155.
- Krewski, D. und Birkwood, P. L. (1987): Risk assessment and risk management: A survey of recent models. In: Lave, L. B. (Hrsg.): Risk assessment and management. New York, London: Plenum Press, 339–406.
- Krohn, W. und Krücken, G. (1993): Risiko als Konstruktion und Wirklichkeit. Eine Einführung in die sozialwissenschaftliche Risikoforschung. In: Krohn, W. und Krücken, G. (Hrsg.): Riskante Technologien: Reflexion und Regulation. Einführung in die sozialwissenschaftliche Risikoforschung. Frankfurt/M.: Suhrkamp, 9–44.
- Krücken, G. (1997): Risikotransformation. Die politische Regulierung technisch-ökologischer Gefahren in der Risikogesellschaft Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Kunreuther, H. und Slovic, P. (1996): Science, values, and risk. In: Kunreuther, H. und Slovic, P. (Hrsg.): Challenges in risk assessment and risk management. *Annals of the American Academy of Political and Social Science. Special Issue.* Thousand Oaks: Sage, 116–125.
- Kurz, R. und Volkert, J. (1995): Ordnungspolitische Grundfragen einer Politik der Nachhaltigkeit. Tübingen: Mohr.
- Ladeur, K.-H. (1993): Der „Umwelthaftungsfonds“ – ein Irrweg der Flexibilisierung des Umweltrechts? *Versicherungsrecht* 44 (7), 257–267.
- Ladeur, K.-H. (1994): Umweltverträglichkeitsprüfung und Ermittlung von Umweltbeeinträchtigungen unter Ungewißheitsbedingungen. *Zeitschrift für Umweltpolitik & Umweltrecht* 17 (1), 1–24.
- Ladeur, K.-H. (1995): Das Umweltrecht der Wissensgesellschaft – Von der Gefahrenabwehr zum Risikomanagement. Berlin: Duncker & Humblot.
- Lafferty, K. D. und Kuris, A. (1996): Biological control of marine pests. *Ecology* 77 (7), 1989–2000.
- Lam, C. W. Y. und Ho, K. C. (1989): Red tides in Tolo Harbor, Hong Kong. In: Okaichi, T., Anderson, D. M. und Nemoto, T. (Hrsg.): Red tides: Biology, Environmental Science and Toxicology. New York: Elsevier, 49–52.
- Lammel, G. und Graßl, H. (1995): On the greenhouse effect of NO_x. *Environmental Science and Pollution Research* 2, 40–45.
- Lammel, G. und Flessa, H. (1998): Anthropogene Störung des Stickstoff-Kreislaufs – Ökotoxikologische Dimension. *Umweltwissenschaften und Schadstoffe* 10, 295–305.
- Lammel, G. und Pahl, T. (1998): How to assess, prevent and manage risks from persistent chemicals in the environment. *Global Environmental Change* (eingereicht).
- LaPorte, T. R. und Consolini, P. M. (1991): Working in practice but not in theory: Theoretical challenges of „high-reliability organizations“. *Journal of Public Administration Research and Theory* 1 (1), 19–47.
- Lappe, T. (1993): Grenzüberschreitender Umweltrechtsschutz – Das Modell der Nordischen Umweltschutzkonvention im Vergleich mit dem deutschen Umweltrecht. *Natur und Recht*

- 1993, 213–217.
- Lasmezias, C. I., Deslys, J. P., Demalmay, R., Adjou, K. T., Lamoury, F., Dormont, D., Robain, O., Ironside, J. und Hauw, J. J. (1996): BSE transmission to macaques. *Nature* 381, 743–744.
- Latif, M., Kleeman, R. und Eckert, C. (1997): Greenhouse warming, decadal variability, or El Niño? An attempt to understand the anomalous 1990s. *Journal of Climatology* 10, 2221–2239.
- Lave, L. B. (Hrsg.) (1985): Risk assessment and management. New York, London: Plenum Press.
- Lave, L. B. (1987): Health and safety risk analyses: Information for better decisions. *Science* 236, 291–295.
- Leist, A. und Schaber, P. (1995): Ethische Überlegungen zu Schaden, Risiko und Unsicherheit. In: Berg, M., Erdmann, G., Leist, A., Renn, O., Schaber, P., Scheringer, M., Seiler, H. und Wiedemann, R. (Hrsg.): Risikobewertung im Energiebereich. Zürich: Vdf Hochschulverlag, 47–70.
- Leung, R., Ho, P., Lam, C. W. und Lai, C. K. (1997): Sensitization to inhaled allergens as a risk factor for asthma and allergic diseases in the Chinese population. *Journal for Allergy and Clinical Immunology* 99, 594–599.
- Levy, L. B. (1998): Multi-drug resistance – A sign of the times. *The New England Journal of Medicine* 338, 1376–1378.
- Liess, M. (1998): Insektizide in Fließgewässern. *UWSF-Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie* 10, 31–36.
- Lips, J. (1998): Pleiotrope Effekte und genetische Stabilität transgener Pflanzen. In: UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.): Nutzung der Gentechnik im Agrarsektor der USA. UBA Texte 47/98. Band 1. Berlin: UBA, 121–156.
- Löfstedt, R. E. (1997): Risk evaluation in the United Kingdom: Legal requirements, conceptual foundations, and practical experiences with special emphasis on energy systems. Arbeitsbericht Nr. 92 der Akademie für Technikfolgenabschätzung. Stuttgart: Akademie für Technikfolgenabschätzung.
- Löfstedt, R. E. und Renn, O. (1997): The Brent Spar controversy: An example of risk communication gone wrong. *Risk Analysis* 17 (2), 131–136.
- Lohmann, T. (1993): Die rechtliche Struktur der Sicherungsmaßnahmen der Internationalen Atomenergie-Organisation. Berlin: Duncker & Humblot.
- Lohmann, U. und Feichter, J. (1997): Impact of sulfate aerosols on albedo and lifetime of clouds: A sensitivity study with the ECHAM4 GCM. *Journal of Geophysical Research* 102, 13685–13700.
- Loneragan, S. (1997): Global environmental change and human security. *Changes* 5 (Sonderausgabe), 1–6.
- Lorenz, E. N. (1964): The problem of deducing the climate from the governing equations. *Tellus* 16 (1), 1–11.
- Lowrance, W. W. (1976): Of acceptable risk: Science and the determination of safety. Los Altos: William Kaufman.
- Lübbe H. (1993): Sicherheit. Risikowahrnehmung im Zivilisationsprozeß. In: Bayerische Rückversicherung (Hrsg.): Risiko ist ein Konstrukt. Wahrnehmungen zur Risikowahrnehmung. München: Knesbeck, 24–41.
- Luhmann, N. (1988): Soziale Systeme – Grundriß einer allgemeinen Theorie. Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- Luhmann, N. (1991): Soziologie des Risikos. Berlin, New York: de Gruyter.
- Luhmann, N. (1993): Risiko und Gefahr. In: Krohn, W. und Krücken, G. (Hrsg.): Riskante Technologien: Reflexion und Regulation. Frankfurt/M.: Suhrkamp, 138–185.
- MacArthur, R. H. und Wilson, E. O. (1967): The theory of island biogeography. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- MacGregor, D. G., Slovic, P. und Granger Morgan, M. (1994): Perceptions of risks from electromagnetic fields: A psychometric evaluation of a risk-communication approach. *Risk Analysis An International Journal*, 14 (5), 815–828.
- Macilwain, C. (1998): When rhetoric hits reality in debate on bioprospecting. *Nature* 392, 535–540.
- MacLean, D. (1986): Social values and the distribution of risk. In: MacLean, D. (Hrsg.): Values at risk. Totowa: Rowman and Allanheld, 75–93.
- MacLean, D. (1987): Understanding the nuclear power controversy. In: Engelhardt jr., H. T. und Caplan, A. L. (Hrsg.): Scientific controversies: Case studies in the resolution and closure of disputes in science and technology. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 567–582.
- MAFF – Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (Hrsg.) (1996): Programme to eradicate BSE in the United Kingdom. London: MAFF.
- MAFF – Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (Hrsg.) (1998): BSE Enforcement Bulletin. London: MAFF.
- Maier-Reimer, E. und Mikolajewicz, U. (1989): Experiments with an OGCM on the cause of the younger Dryas. In: Ayala-Castanares, W. und Yanez-Arancibia, D. (Hrsg.): Oceanography 1988. Mexico-Stadt: UNAM Press, 87–99.
- Maier-Rigaud, G. (1993): Ordnungspolitische Aspekte der Öko-Audit-Verordnung der EG. *Wirtschaftsdienst* 73 (4), 193–198.
- Manabe, S. und Stouffer, R. J. (1993): Century-scale efficiencies of increased atmospheric CO₂ on the ocean-atmosphere system. *Nature* 364, 215–218.
- Manderscheid, B., Matzner, E., Meiwes, K.-J. und Xu, Y. (1995): Long term development of element budget in a norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) forest of German Solling area. *Water, Air and Soil Pollution* 79, 3–18.
- Marburger, P. (1986): Umweltschäden. Ein Prüfstein für die Wandlungs- und Leistungsfähigkeit des Deliktsrechts. *Neue Juristische Wochenschrift* 39 (32), 1961–1971.
- Marcus, A. D. (1988): Risk, uncertainty, and scientific judgment. *Minerva* 26, 138–152.
- Margolis, H. (1996): Dealing with risk. Why the public and the experts disagree on environmental issues. Chicago: University of Chicago Press.
- Markowitz, J. (1990): Kommunikation über Risiken – Eine Theorie-Skizze. *Schweizerische Zeitschrift für Soziologie* 3, 385–420.
- Marschner, H. (1990): Mineral nutrition of higher plants. London: Academic Press.
- Marwich, C. (1998): Investigators present latest findings on Hong Kong bird flu to the FDA. *Medical News & Perspectives. Leads From the Morbidity and Mortality Weekly Report* 46, 1204–1207.
- Masters, C. L., Gajdusek, D. C. und Gibbs jr., C. J. (1981): The familial occurrence of Creutzfeldt-Jakob Disease and Alzheimer's disease. *Brain* 104, 535–558.
- Matthies, E. (1995): Aspekte der Bedrohlichkeit von Umwelt-

- belastungen. Eine explorative Untersuchung mit der Repertory-Grid-Technik. Bochum: Psychologisches Institut der Ruhr-Universität.
- Matthies, E., Krömker, D. und Höger, R. (1995): Das Planspiel als Lern- und Forschungsfeld in der Risikokommunikation. Bochum: Psychologisches Institut der Ruhr-Universität.
- McCully, P. (1996): *Silenced rivers*. London, New Jersey: Zed Books.
- McGaughey, W. H. und Whalon, M. E. (1992): Managing insect resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins. *Science* 258, 1451–1455.
- MacGregor, D. G., Slovic, P. und Granger Morgan, M. (1994): Perceptions of risks from electromagnetic fields: A Psychometric evaluation of a risk-communication approach. *Risk Analysis. An International Journal*, 14 (5), 815–828.
- Meadows, D. L. (1972): *The Limits of growth*. New York: Universe Books.
- Medvedev, G. (1991): *The truth about Chernobyl*. New York: Basic Books.
- Mee, L. D. (1992): The Black Sea in crisis: A need for concerted international action. *Ambio* 21, 278–286.
- Merkhofer, L. W. (1984): Comparative analysis of formal decision-making approaches. In: Covelto, V. T., Menkes, J. und Mumpower, J. (Hrsg.): *Risk evaluation and management*. New York, London: Plenum Press, 183–220.
- Merkhofer, L. W. (1987): The use of risk comparison to aid the communication and interpretation of the risk analyses for regulatory decision making. In: Lave, L. B. (Hrsg.): *Risk assessment and management*. New York, London: Plenum Press, 581–607.
- Merz, E. (1983): Der Brennstoffkreislauf von Kernkraftwerken. In: Münch, E. (Hrsg.): *Tatsachen über Kernenergie*. Essen, München: Girardet, ETV, 53–72.
- Michaelis, P. (1996): *Ökonomische Instrumente in der Umweltpolitik – Eine anwendungsorientierte Einführung*. Heidelberg: Physica.
- MIDA – Malaysian Industrial Development Authority (o. J.): *Malysian import of processed raw rattan from Indonesia*. Malaysia: MIDA.
- Mikkelsen, T. R., Andersen, B. und Jorgensen, R. B. (1996): The Risk of crop transgene spread. *Nature* 380, 31.
- Mikolajewicz, U. und Maier-Reimer, E. (1990): Internal secular variability in an Ocean General Circulation Model. *Modeling Climate Dynamics* 4, 145–156.
- Mill, E. S. (1972): *Urban economics*. Glenview: Scott Foresman.
- MMWR (1996): *MMWR Mortal Weekly Report* 45 (5), 110–111.
- Mohr, H. (1995): *Qualitatives Wachstum. Lösung für die Zukunft*. Stuttgart: Weitbrecht.
- Mohr, H. und Müntz, K. (Hrsg.) (1994): *The terrestrial nitrogen cycle as influenced by man*. Halle (Saale): Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina.
- Mooney, H. A. und Drake, J. A. (1986) (Hrsg.): *Ecology of biological invasions of North America and Hawaii*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Mooney, H. A., Canadell, J., Chapin, F. S., Ehleringer, J., Körner, C., McMurtrie, R., Parton, W. J., Pitelka, L. und Schulze, E.-D. (1998): Ecosystem physiology responses to global change. In: Walker, B., Steffen, W., Canadell, J. und Ingram, J. (Hrsg.): *The Terrestrial Biosphere and Global Change*. Cambridge, New York: Cambridge University Press (im Druck).
- Mooney, H. A., Cushman, J. H., Medina, E., Sala, O. E. und Schulze, E.-D. (Hrsg.) (1996): *Functional roles of biodiversity – a global perspective*. SCOPE 55. Chichester, New York: Wiley.
- Mooney, P. R. (1985): *Saat-Multis und Welthunger*. Hamburg: Rowohlt.
- Morgan, M. G. (1990): Choosing and managing technology-induced risks. In: Gleickman, T. S. und Gough, M. (Hrsg.): *Readings in risk*. Washington, DC: Resources for the Future, 5–15.
- Morrison, D., Chapman, C. R. und Slovic, P. (1994): *The impact hazard*. In: Gehrels, T. (Hrsg.): *Hazards due to comets and asteroids*. Tuscon: University of Arizona Press, 59–91.
- Mortimore, M. (1989): *Adapting to drought: Farmers, famines, and desertification in West Africa*. Cambridge, New York: New Rochelle.
- Müller, H. und Frank, K. (1997): *Nukleare Abrüstung – neue Schritte sind notwendig*. HSFK-Standpunkte. Friedensforschung aktuell (3). Frankfurt/M.: Hessische Stiftung für Friedens- und Konfliktforschung (HSFK).
- Müller-Chen, M. (1997): *Entwicklungen im europäischen Umwelthaftungsrecht*. Schweizerische Zeitschrift für Internationales und Europäisches Recht 7 (2), 213–245.
- Müller-Herold, U. (1998): *Anpassung der Reichweiteindikatoren bei der Chemikalienbewertung an die globale Analyseebene*. Externes Gutachten für den WBGU. Unveröffentlichtes Manuskript.
- Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft (1998): *Statistik aus dem Jahr 97/98*. München. Unveröffentlichtes Manuskript.
- Murakawa, M. (1987): *Marine pollution and countermeasures in Japan*. *Oceanus* 30, 55–60.
- Murdoch, W. W. und Briggs, C. J. (1996): *Theory for biological control: Recent developments*. *Ecology* 77 (7), 2001–2013.
- Murdoch, W. W., Chesson, J. und Chesson P. L. (1985): *Biological control in the theory and practice*. *The American Naturalist* 125 (3), 344–366.
- Naylor, R. (1996): *Invasions in agriculture: Assessing the cost of the Golden Apple Snail in Asia*. *Ambio* 25 (7), 443–448.
- Nettesheim, M. (1996): *Die ökologische Intervention*. *Archiv des Völkerrechts* 34 (2), 168–217.
- Newhall, C. G. und Self, S. (1982): *The Volcanic Explosivity Index (VEI): An estimate of explosive magnitude for historical volcanism*. *Journal of Geophysical Research* 87, 1231–1238.
- Niemelä, P. und Mattson, W. J. (1996): *Invasion of North American forests by European phytophagous insects*. *Bioscience* 46, 741–753.
- Nöh, I. (1996): *Risikoabschätzung bei Freisetzen transgener Pflanzen: Erfahrungen des Umweltbundesamtes beim Vollzug des Gentechnikgesetzes (GenTG)*. In: UBA–Umweltbundesamt (Hrsg.): *Langzeitmonitoring von Umwelteffekten transgener Organismen*. UBA Texte 58/96. Berlin: UBA, 9–26.
- Nohlen, D. (1989): *Grüne Revolution*. In: Nohlen, D. (Hrsg.): *Lexikon Dritte Welt. Länder, Organisationen, Theorien, Begriffe, Personen*. Hamburg: Rowohlt, 281–282.
- Nordhaus, W. D. (1994): *Managing the global commons: The*

- Economics of climate change. *Hazards Research* 4, 336.
- Nordhaus, W. D. (1997): Discounting in economics and climate change. *Climatic Change* 37, 315–328.
- Nordhaus, W. D. und Yang, Z. (1996): A regional dynamic general-equilibrium model of alternative climate-change strategies. *The American Economic Review* 86, 741–765.
- Nordlee, J. A., Taylor, S. L., Townsend, J. A., Thomas, L. A. und Bush, R. K. (1996): Identification of a Brazil-Nut allergen in transgenic soybeans. *The New England Journal of Medicine* (3), 688–692.
- North, D. C. (1992): Institutionen, institutioneller Wandel und Wirtschaftsleistung. Tübingen: Mohr.
- Nothbaum, N. (1997): Die Akquisition von unsicherem Wissen bei Experten – Kognitive Didaktik und situative Rahmung bei der Erhebung von Verteilungswissen. Bielefeld: Universität Bielefeld (Dissertation).
- NRC – National Research Council. Committee on Risk and Decision Making (1982): Risk and decision making: Perspectives and research. Washington, DC: National Academy Press.
- NRC – National Research Council. Committee on the Institutional Means for Assessment of Risks to Public Health (1983): Risk assessment in the Federal Government: Managing the process. National Academy of Sciences. Washington, DC: National Academy Press.
- NRC – National Research Council. Climate Research Committee, Board on Atmospheric Sciences and Climate und Commission on Geosciences, Environment, and Resources (Hrsg.) (1996): Learning to predict climate variations associated with El Niño and the Southern Oscillation: Accomplishments and legacies of the TOGA Program. Washington, DC: National Academy Press.
- Nuscheler, F. (1997): Alter Wein in neuen Schläuchen – Kritische Anmerkungen zu den UNDP-Berichten. epd-Entwicklungspolitik (November), d1–d7.
- O’Riordan, T. (1983): The cognitive and political dimension of risk analysis. *Environmental Psychology* 3, 345–354.
- Oehlmann J., Schulte-Oehlmann, U., Stroben, E., Bauer, B., Bauer, C., Bettin, C., Fiorni, P. und Markert, B. (1995): Androgenic effects of organotin compounds in molluscs. In: UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.): Endocrinically active chemicals in the environment. Berlin: UBA, 111–118.
- Oldeman, L. R. (1992): Global extent of soil degradation. ISRIC Bi-Annual Report 1991–1992. Wageningen: International Soil Science and Information Centre (ISRIC).
- Olsen J., Watts J. A. und Allison L. J. (1985): Major world ecosystem complexes ranked by carbon in live vegetation: A database. NDP-017. Oak Ridge: Oak Ridge National Laboratory.
- Opp, K.-D. (1996): Aufstieg und Niedergang der Ökologiebewegung in der Bundesrepublik. In: Diekmann, A. und Jaeger, C. C. (Hrsg.): Umweltsoziologie. Sonderheft 36 der Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie. Opladen: Westdeutscher Verlag, 350–379.
- Osebold, J. W., Gershwin, L. J. und Zee, Y. C. (1980): Studies on the enhancement of allergic lung sensitization by inhalation of ozone and sulfuric acid aerosol. *Journal of Environmental Pathology and Toxicology* 3, 221–234.
- Ott, E., Grebogi, C. und Yorke, E. (1990): Controlling chaos. *Physical Review Letters* 64 (90), 1196–1199.
- Paerl, H. W. (1997): Coastal eutrophication and harmful algal blooms: Importance of atmospheric deposition and groundwater as ‘new’ nitrogen and other nutrient sources. *Limnology and Oceanography* 42 (5, Teil 2), 1154–1165.
- Pahl, T. (1998): *Umweltpolitische Instrumente und die Produktion ökologischen Wissens*. Marburg: Unveröffentlichtes Manuskript.
- Panther, S. (1992): Haftung als Instrument einer präventiven Umweltpolitik. Frankfurt/M.: Campus.
- Pasche, M. (1994): Ansätze einer evolutorischen Umweltökonomik. In: Beckenbach, F. und Diefenbacher, H. (Hrsg.): Zwischen Entropie und Selbstorganisation – Perspektiven einer ökologischen Ökonomie. Marburg: Metropolis, 75–118.
- Pastor, J., Mladenoff, D. J. und Bryant, J. (1996): Biodiversity and ecosystem processes in boreal regions. In: Mooney, H. A., Cushman, J. H., Medina, E., Sala, O. E. und Schulze, E.-D. (Hrsg.): Functional roles of biodiversity – a global perspective. SCOPE 55. Chichester, New York: Wiley, 33–69.
- Pennisi, E. (1998): Versatile gene uptake system found in Cholera bacterium. *Science* 280, 521–522.
- Perrings, C. (1987): Economy and environment – A theoretical essay on the interdependence of economic and environmental systems. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- Perrings, C. (1989): Environmental bonds and environmental research in innovative activities. *Ecological Economics* 1, 95–110.
- Perrow, C. (1984): Normal accidents. Living with high-risk technologies. New York: Basic Books.
- Perrow, C. (1992): Unfälle und Katastrophen – ihre Systembedingungen. *Journal für Sozialforschung* 32 (1), 61–75.
- Peters, H. P. (1995): Massenmedien und Technikakzeptanz: Inhalte und Wirkungen der Medienberichterstattung über Technik, Umwelt und Risiken. Jülich: Forschungszentrum Jülich.
- Petringa, N. (1997): Risk Regulation: Legal requirements, conceptual foundations and practical experiences in Italy. Case Study of the Italian energy sector. Arbeitsbericht Nr. 90 der Akademie für Technikfolgenabschätzung. Stuttgart: Akademie für Technikfolgenabschätzung.
- Petschel-Held, G. und Reusswig, F. (1998): Climate change and global change: The Syndrome concept. In: Hacker, J. (Hrsg.): Goals as instruments for the achievement of global warming mitigation in Europe. Dordrecht: Kluwer (im Druck).
- Pfeiffer, T. (1993): Der Umweltgerichtsstand als zuständigkeitsrechtlicher Störfall. *Zeitschrift für den Zivilrechtsprozeß* 106 (2), 159–179.
- Pfetsch, F. R. (Hrsg.) (1991): Konflikte seit 1945. Freiburg, Würzburg: Ploetz.
- Pfetsch, F. R. und Rohloff, C. (1998): Global trends of conflicts 1945–1995. Fifty years of peaceful and violent conflicts in and among states. Freiburg, Würzburg: Ploetz (im Druck).
- Pidgeon, N. F., Hood, C. C., Jones, D. K. C., Turner, B. A. und Gibson, R. (1992): Risk perception. In: Royal Society Study Group (Hrsg.): Risk analysis, perception and management. London: The Royal Society, 89–134.
- Pilardeaux, B. (1995): Innovation und Entwicklung in Nordpakistan – Über die Rolle von exogenen Agrarinnovationen im Entwicklungsprozeß einer peripheren Hochgebirgsregion. Saarbrücken: Verlag für Entwicklungspolitik.
- Pilardeaux, B. (1997): Desertifikationsbekämpfung im Auf-

- wind? – 1. Vertragsstaatenkonferenz der UNCCD. Nord-Süd Aktuell 11 (4), 744–749.
- Pilardeaux, B. und Schulz-Baldes, M. (1998): Desertifikation. In: Lozan, J. L., Graßl, H., Hupfer, P. und Sterr, H. (Hrsg.): Warnsignale aus der Klimaentwicklung. Berlin: Parey.
- Pimm, S. L. (1991): The balance of nature? – Ecological issues in the conservation of species and communities. Chicago: The University of Chicago.
- Pipers, F. (1995): The Lugano Convention on civil liability for damages resulting from activities dangerous to the environment and the intents of the European union with regard to reinstatement of the environment. In: von Bar, C. (Hrsg.): Internationales Umwelthaftungsrecht – Auf dem Weg zu einer Konvention über Fragen des Internationalen Umwelthaftungsrechts. Band 1. Köln: Heymann, 15–29.
- Plate, E. (1998): Hochwasser und Hochwasserschutz. Externes Gutachten für den WBGU. Unveröffentlichtes Manuskript.
- Platt, J. (1973): Social traps. *American Psychologist* 28, 641–651.
- Plöchl, M. (1997): The Dust-Bowl syndrome. Abschlußbericht des Werkvertrags für das BMBF-Projekt „Syndromdynamik“. Dezember 1997. Potsdam: PIK. Unveröffentlichtes Manuskript.
- Posch, M., Hettelingh, F., Alcamo, J. und Krol, M. (1996): Integrated scenarios of acidification and climate change in Asia and Europe. *Global Environmental Change* 6 (4) 375–394.
- Poumadère, M. und Mays, C. (1997): Energy risk regulation in France. Arbeitsbericht Nr. 89 der Akademie für Technikfolgenabschätzung. Stuttgart: Akademie für Technikfolgenabschätzung.
- Pretty, J. N. (1995): Regenerating agriculture: Policies and practice for sustainability and self-reliance. Washington, DC: Joseph Henry Press.
- ProClim – Forum für Klima und Global Change der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften (1997): Forschung zu Nachhaltigkeit und Globalem Wandel – Wissenschaftspolitische Visionen der Schweizer Forschenden. Bern: ProClim.
- Projektgruppe „Umweltstandards“ (1998): Vorläufiges Arbeitspapier der Projektgruppe „Umweltstandards“ der Europäischen Akademie Bad Neuenahr-Ahrweiler. Bad Neuenahr-Ahrweiler: Europäische Akademie.
- Protess, D. (1987): The impact of investigative reporting on public opinion and policymaking. *Public Opinion Quarterly* 51 (2), 166–185.
- Pryer, J. (1990): Hunger and women's survival in a Bangladesh slum. In: Bernstein, H. (Hrsg.): The food question. New York: Monthly Review Press, 125–133.
- Pühler, A. (1998a): Einfluß von freigesetzten und inverkehrgebrachten gentechnisch veränderten Organismen auf Mensch und Umwelt (Gutachten im Auftrag des Rats von Sachverständigen für Umweltfragen, Wiesbaden). In: SRU – Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (Hrsg.): Zu Umweltproblemen der Freisetzung und des Inverkehrbringens gentechnisch veränderter Pflanzen. Stuttgart: Metzler-Poeschel, 1–50.
- Pühler, A. (1998b): Horizontaler Gentransfer und seine Bedeutung für die unbeabsichtigte Verbreitung transgener Eigenschaften. Externes Gutachten für den WBGU. Unveröffentlichtes Manuskript.
- Puttfarcken, H.-J. (1997): Seehandelsrecht. Heidelberg: Recht und Wirtschaft.
- Pyragas, K. (1992): Continuous control of chaos by self-controlling feedback. *Physics Letters A* 170 (6), 421–428.
- Rager, G., Klaus, E. und Thyen, E. (1987): Der Reaktorunfall in Tschernobyl und seine Folgen in den Medien. Eine inhaltsanalytische Untersuchung. Abschlußbericht. Dortmund: Universität Dortmund. Institut für Journalistik.
- Rahmstorf, S. (1995): Bifurcation of the Atlantic thermohaline circulation in response to changes in the hydrological cycle. *Nature* 378, 145–149.
- Rahmstorf, S. (1997): Risk of sea-change in the Atlantic. *Nature* 388, 825–826.
- Raiffa, H. (1973): Einführung in die Entscheidungstheorie. München: Oldenbourg.
- Rat für Forschung, Technologie und Innovation (1997): Biotechnologie, Gentechnik und wirtschaftliche Innovation. Bonn: Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF).
- Rau, B. (1991): From feast to famine: Official cures and grassroots remedies to Africa's food crisis. London, New Jersey: Zed Books.
- Rawls, J. (1971): A theory of justice. Cambridge: Harvard University Press.
- Rawls, J. (1974): Some reasons for the maximin criterion. *American Economic Review* 1, 141–146.
- Rayner, S. (1984): Disagreeing about risk: The institutional cultures of risk management and planning for future generations. In: Hadden, S. G. (Hrsg.): Risk analysis, institutions, and public policy. Port Washington, N.Y.: Associated Faculty Press, 150–178.
- Rayner, S. (1992): Cultural theory and risk analysis. In: Krinsky, S. und Golding, D. (Hrsg.): Social theories of risk. Westport, CT, London: Praeger, 83–116.
- Rayner, S. (1993): Risikowahrnehmung, Technologieakzeptanz und institutionelle Kultur: Fallstudien für einige neue Definitionen. In: Bayerische Rückversicherung (Hrsg.): Risiko ist ein Konstrukt. München: Knesebeck, 213–244.
- Reason, J. (1994): Menschliches Versagen: Psychologische Risikofaktoren und moderne Technologien. Heidelberg: Spektrum.
- Regal, P. (1986): Models of genetically engineered organisms and their ecological impact. In: Mooney, H. A. und Drake, J. A. (Hrsg.): Ecology of biological invasions of North America and Hawaii. *Ecological Studies* 58. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 111–129.
- Regal, P. J. (1994): Scientific principles for ecologically based risk assessment of transgenic organisms. *Molecular Ecology* 3, 5–13.
- Rehbinder, E. (1976): Umweltrecht. *Rebels Zeitschrift für ausländisches und internationales Privatrecht* 3, 365–372.
- Rehbinder, E. (1988): Ersatz ökologischer Schäden. Begriff, Anspruchsberechtigung und Umfang des Ersatzes unter Berücksichtigung rechtsvergleichender Erfahrungen. *Natur und Recht* 10 (3), 105–115.
- Rehbinder, E. (1989): Fortentwicklung des Umwelthaftungsrechts. *Natur und Recht* 11 (4), 149–163.
- Rehbinder, E. (1992a): Haftpflicht und Verhütung von Umweltschäden aus juristischer Sicht. In: Endres, A., Rebinder, E. und Schwarze, R. (Hrsg.): Haftung und Versicherung für Umweltschäden aus ökonomischer und juristischer Sicht.

- Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 34–57.
- Rehbinder, E. (1992b): Der Beitrag von Versicherungs- und Fondslösungen zur Verhütung von Umweltschäden aus juristischer Sicht. In: Endres, A., Rehbinder, E. und Schwarze, R. (Hrsg.): Haftung und Versicherung für Umweltschäden aus ökonomischer und juristischer Sicht. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 120–150.
- Rehbinder, E. (1992c): Risikomanagement von Versicherungen, Schadensfonds und Umweltgenossenschaften zur Verhütung von Umweltschäden aus juristischer Sicht. In: Endres, A., Rehbinder, E. und Schwarze, R. (Hrsg.): Haftung und Versicherung für Umweltschäden aus ökonomischer und juristischer Sicht. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 151–171.
- Rehbinder, E. (1997): Stoffrecht. In: Arbeitskreis für Umweltrecht (Hrsg.): Grundzüge des Umweltrechts. Berlin: Schmidt, 13/001–13/051.
- Reimann, C. (1997): Ökologische Intervention im internationalen Recht. *Natur und Recht* 19 (1), 16–22.
- Renn, O. (1984): Risikowahrnehmung der Kernenergie. Frankfurt/M.: Campus.
- Renn, O. (1989): Risikowahrnehmung – Psychologische Determinanten bei der intuitiven Erfassung und Bewertung von technischen Risiken. In: Hosemann, G. (Hrsg.): Risiko in der Industriegesellschaft. Nürnberg: Universitätsbibliothek, 167–192.
- Renn, O. (1990): Die Psychologie des Risikos: Die intuitive Erfassung und Bewertung von technischen Risiken. *Energie-wirtschaftliche Tagesfragen* 8, 558–567.
- Renn, O. (1992): Concepts of risk: A classification. In: Krinsky, S. und Golding, D. (Hrsg.): Social theories of risk. Westport, CT., London: Praeger, 53–79.
- Renn, O. (1995): Risikobewertung aus Sicht der Soziologie. In: Berg, M., Erdmann, G., Leist, A., Renn, O., Schaber, P., Scheringer, M., Seiler, H. und Wiedemann, R. (Hrsg.): Risikobewertung im Energiebereich. Polyprojekt Risiko und Sicherheit. Schrift Nr. 7. Zürich: Vdf Hochschulverlag, 71–134.
- Renn, O. (1996): Kann man die technische Zukunft voraussagen? Zum Stellenwert der Technikfolgenabschätzung für eine verantwortbare Zukunftsvorsorge. In: Pinkau, K. und Stahlberg, C. (Hrsg.): Technologiepolitik in demokratischen Gesellschaften. Stuttgart: Edition Universitas und Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, 23–51.
- Renn, O. (1997a): Abschied von der Risikogesellschaft? Risikopolitik zwischen Expertise und Moral. GAIA. Ökologische Perspektiven in Natur-, Geistes- und Wirtschaftswissenschaften 4, 269–275.
- Renn, O. (1997b): Three decades of risk research: Accomplishments and new challenges. *Journal of Risk Research* 11 (1), 49–71.
- Renn, O. (1998): The role of risk perception for risk management. *Reliability Engineering and System Safety* 59, 49–61.
- Renn, O. und Oppermann, B. (1995): „Bottom-up“ statt „Top-down“ – die Forderung nach Bürgermitwirkung als (altes und neues) Mittel zur Lösung von Konflikten in der räumlichen Planung. *Stadtökologie. Zeitschrift für Angewandte Umweltforschung (Sonderheft 6)*, 257–276.
- Renn, O. und Webler, T. (1998): Der kooperative Diskurs – Theoretische Grundlagen, Anforderungen, Möglichkeiten. In: Renn, O., Kastenholz, H., Schild, P. und Wilhelm, U. (Hrsg.): Abfallpolitik im kooperativen Diskurs. Bürgerbeteiligung bei der Standortsuche für eine Deponie im Kanton Aargau. Polyprojekt Risiko und Sicherheit der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich. Dokumente Nr. 19. Zürich: Hochschulverlag AG an der ETH, 3–103.
- Renn, O. und Zwick, M. M. (1997): Risiko- und Technikakzeptanz. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Renn, O., Albrecht, G., Kotte, U., Peters, H. P. und Stegelmann, H. U. (1985): Sozialverträgliche Energiepolitik. Ein Gutachten für die Bundesregierung. München, Essen: HTV.
- Renn, O., Burns, W. J., Kasperson, J. X., Kasperson, R. E. und Slovic, P. (1992): The social amplification of risk: Theoretical Foundations and empirical applications. *Journal of Social Issues* 48 (4), 137–160.
- Richards, P. (1986): Coping with hunger: Hazard and experiment in an African rice-farming system. London, Boston, Sydney: Allen & Unwin.
- Riedel, F., Hasenauer, E., Barth, P. J., Koziorowski, A. und Rieger, C. H. L. (1996): Formaldehyde exposure enhances inhalative allergic sensitization in the guinea pig. *Allergy* 51, 94–99.
- Rinio, C. (1997): Die zivilrechtliche Haftung für Ölverschmutzungsschäden nach Tankerunfällen im internationalen System. *Natur und Recht* 19 (1), 22–26.
- Rippetoe, P. und Rogers, R. (1987): Effects of components of protection-motivation-theory on adaptive and mal-adaptive coping with a health threat. *Journal of Personality and Social Psychology*, 52, 596–604.
- RKI – Robert-Koch-Institut (1998): Pressemitteilungen des Robert-Koch-Instituts. Internet-Datei <http://www.rki.de>. Berlin: RKI.
- Roberts, K. H. (1989): New challenges in organizational research: High reliability organizations. *Industrial Crisis Quarterly* 3 (2), 111–125.
- Roberts, K. H. und Gargano, G. (1990): Managing a high-reliability organization: A case for interdependence. In: von Glinow, M. A. und Mohrmann, S. A. (Hrsg.): Managing complexity in high technology organizations. Oxford, N.Y.: Oxford University Press, 146–159.
- Rochlin, G. I. (1993): Defining „high reliability“ organizations in practice: A taxonomic prologue. In: Roberts, K. H. (Hrsg.): New challenges to understanding organizations. New York: Macmillan, 11–32.
- Roeckner, E., Arpe, K., Bengtsson, L., Christoph, M., Claussen, M., Dümenil, L., Esch, M., Giorgetta, M., Schlese, U. und Schulzweida, U. (1996): The atmospheric general circulation model ECHAM-4: Model description and simulation of present-day climate. Hamburg: Max-Planck-Institut für Meteorologie.
- Rohloff, C. (1998): Konfliktforschung und Umweltkonflikte. Methodische Probleme. In: Carius, A. und Lietzmann, K. M. (Hrsg.) (1998): Umwelt und Sicherheit. Herausforderungen an die internationale Politik. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 155–175.
- Rohrmann, B. (1991): Akteure der Risikokommunikation. In: Jungermann, H., Rohrmann, B. und Wiedemann, P. M. (Hrsg.): Risikokontroversen. Konzepte, Konflikte, Kommunikation. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 355–370.
- Rohrmann, B. (1995a): Technological risks: Perception, evaluation, communication. In: Mechlers, R. E. und Stewart, M. G. (Hrsg.): Integrated risk assessment. Current practice and new directions. Rotterdam: Balkema, 7–12.
- Rohrmann, B. (1995b): Risk perception research: Review and documentation. *Studies in Risk Communication* 48. Jülich: Forschungszentrum Jülich.

- Rohrmann, B. und Renn, O. (1998): Risk perception research. An introduction. In: Renn, O. und Rohrmann, B. (Hrsg.): Cross-cultural risk perception (in Vorbereitung).
- Röpke, J. (1977): Die Strategie der Innovation – Eine systemtheoretische Untersuchung der Interaktion von Individuum, Organisation und Markt im Neuerungsprozeß. Tübingen: Mohr.
- Rosa, E. (1997): Metatheoretical foundations for post-normal risk. *Journal of Risk Research* 1 (1), 15–44.
- Rosenblum, M. G., Pikovsky, A. S. und Kurths, J. (1996): Phase synchronization of chaotic oscillators. *Physical Review Letters* 76, 1804–1807.
- Ross, L. D. (1977): The intuitive psychologist and his shortcomings: Distortions in the attribution process. In: Berkowitz, L. (Hrsg.): *Advances in Experimental Social Psychology*. Band 10. New York: Random House, 173–220.
- Rowe, W. D. (1979): What is an acceptable risk and how can it be determined? In: Goodman, G. T. und Rowe, W. D. (Hrsg.): *Energy risk management*. London: Academic Press, 327–344.
- Rowe, W. D. (1983): Ansätze und Methoden der Risikoforschung. In: Conrad, J. (Hrsg.): *Gesellschaft, Technik und Risikopolitik*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 15–38.
- Rowe, W. D. (1984): Risiken seltener Ereignisse. In: Lange, S. (Hrsg.): *Ermittlung und Bewertung industrieller Risiken*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 152–166.
- Rowland, F. S. und Molina, M. J. (1975): Chlorofluoromethanes in the environment. *Revue for Geophysics and Space Physics* 13, 1–35.
- Rublack, S. (1993): Der grenzüberschreitende Transfer von Umweltrisiken im Völkerrecht. Baden-Baden: Nomos.
- Ruff, F. M. (1993): Risikokommunikation als Aufgabe für die Umweltmedizin. In: Aurand, K., Hazard, B. P. und Tretter, F. (Hrsg.): *Umweltbelastungen und Ängste. Erkennen, Bewerten, Vermeiden*. Opladen: Westdeutscher Verlag, 327–364.
- Sagan, S. D. (1993): *The limits of safety. Organizations, accidents, and nuclear weapons*. Princeton: Princeton University Press.
- Salander, C. (1995): Der nukleare Brennstoffkreislauf. In: Michaelis, H. und Salander, C. (Hrsg.): *Handbuch Kernenergie. Kompendium der Energiewirtschaft und Energiepolitik*. Frankfurt: VVEW, 465–558.
- Salje, P. (1993): *Umwelthaftungsgesetz – Kommentar*. München: Beck.
- Sandlund, O. T., Schei, P. J. und Viken, Å. (1996) (Hrsg.): *Proceedings of the Norway/UN Conference on Alien Species*, Trondheim, 1–5 July 1996. Trondheim: Directorate for Nature Management (DN)/ Norwegian Institute for Nature Research (NINA).
- Schack, H. (1992): Das Internationale Prozeßrecht in umweltrechtlichen Streitigkeiten. *Umweltschutz im Völkerrecht und Kollisionsrecht. Berichte der Deutschen Gesellschaft für Völkerrecht*. Karlsruhe: Müller, 315–357.
- Schaefer, H. (1995): *Gefährdet Elektromog die Gesundheit?* Stuttgart: Akademie für Technikfolgenabschätzung.
- Schäfer, T., Krämer, U., Behrendt, H., Vieluf, D. und Ring, J. (1995): Skin Prick Test (SPT) reactivity in areas with varying air pollution in East- and West-Germany. *Journal of Allergy and Immunology* 95, 210.
- Schellnhuber, H.-J. und Kropp, J. (1998a): *Geokybernetics: Controlling a rather complex dynamical system under uncertainty*. Naturwissenschaften (im Druck).
- Schellnhuber, H.-J. und Wenzel, V. (Hrsg.) (1998b): *Earth system analysis: Integrating science for sustainability*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Scherer-Lorenzen, M., Elend, A., Nöllert, S. und Schulze, E.-D. (1998): Plant invasions in Germany – General aspects and impact of nitrogen deposition. In: Mooney, H. A. und Hobbs, R. (Hrsg.): *The impact of global change on invasive species*. Washington DC, Covelo: Island Press (im Druck).
- Scherzberg, A. (1993): Risiko als Rechtsproblem. *Verwaltungs-Archiv Band 84*, 484–513.
- Schimank, U. (1992): Spezifische Interessenkonflikte trotz generellem Orientierungsdissens. In: Giegel, H.-J. (Hrsg.): *Kommunikation und Konsens in modernen Gesellschaften*. Frankfurt/M.: Suhrkamp, 236–275.
- Schlehe, J. (1998): Lokale Wahrnehmung und Deutung von Naturkatastrophen in Indonesien: Die Ausbrüche des Krakatau (1883) und des Merapi (1994/1997). Antrittsvorlesung. Hagen: FernUniversität Hagen.
- Schlesinger, W. H. (1997): *Biogeochemistry-analysis of global change*. San Diego: Academic Press.
- Schlüter, K., Fütterer, J. und Potrykus, I. (1995): „Horizontal“ gene transfer from a transgenic potato line to a bacterial pathogen (*Erwinia chrysanthemi*) occurs – if at all – at an extremely low frequency. *Bio/Technology* 13, 1094–1098.
- Schneider, U. (1996): Wirtschaftslogik. In: Königswieser, R., Haller, M., Maas, P. und Jarmai, D. (Hrsg.): *Risiko-Dialog. Zukunft ohne Harmonieformel*. Köln: Deutscher Instituts-Verlag, 61–80.
- Schneider, K. und Rheinberg, F. (1996): Erlebnissuche und Risikomotivation. In: Amelang, M. (Hrsg.): *Temperaments- und Persönlichkeitsunterschiede*. Göttingen: Hogrefe, 407–439.
- Scholes, R. J., Schulze, E.-D., Pitelka, L. F. und Hall, D. O. (1998): Biogeochemistry of terrestrial ecosystems. In: Walker, B., Steffen, W., Canadell, J. und Ingram, J. (Hrsg.): *The Terrestrial Biosphere and Global Change*. Cambridge, New York: Cambridge University Press (im Druck).
- Scholtissek, C., Rohde, W., von Hoyningen, V. und Rott, R. (1978): On the origin of the human influenza virus subtypes H2N2 and H3N2. *Virology* 87, 13–20.
- Schulman, P. R. (1993): The analysis of high reliability organizations: A comparative framework. In: Roberts, K. H. (Hrsg.): *New Challenges to Understanding Organizations*. New York: Macmillan, 33–54.
- Schulte, E. und Käppeli, O. (Hrsg.) (1996): *Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen – Eine Option für die Landwirtschaft? BATS (Biosafety Research and Assessment of Technology Impacts of the Swiss Priority Programm Biotechnology) – TA Hefte. Band 1: Materialien*. Bern: Schweizerischer Nationalfonds.
- Schulte, E. und Käppeli, O. (Hrsg.) (1997): *Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen. BATS (Biosafety Research and Assessment of Technology Impacts of the Swiss Priority Programm Biotechnology) – TA Hefte. Band 2: Abschlußbericht*. Bern: Schweizerischer Nationalfonds.
- Schulz von Thun, F. (1993): *Miteinander Reden. Störungen und Klärungen*. Reinbek: Rohwohlt.
- Schulze, E.-D. und Mooney, H. A. (Hrsg.) (1994): *Biodiversity and ecosystem function*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.

- Schulze, E.-D., Oren, R. und Lange, O. L. (1989): Processes leading to forest decline: A synthesis. In: Schulze, E. D., Lange, O. L. und Oren, R. (Hrsg.): Forest decline and air pollution. Ecological Studies 77. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 459–468.
- Schütz, H., Wiedemann, P. und Gray, P. (1997): Cognitive determinants of perceived risk (Workshopbericht). Jülich: Forschungszentrum Jülich.
- Schwartz, D. A. (1997): Emerging and reemerging infections. Progress and challenges in the subspecialty of infectious disease pathology. Archives of Pathology & Laboratory Medicine 121, 776–784.
- Schwartz, M. N. (1979): Another new pneumonia. Pandora's Box reopened. The New England Journal of Medicine 301, 995–996.
- Schwartz, S. E. (1996): The Whitehouse effect – Shortwave radiative forcing of climate by anthropogenic aerosols: An overview. Journal of Aerosol Science 27, 359–382.
- Schwarze, R. (1998): Prävention von Umweltschäden durch Umwelthaftung? Eine theoretische und empirische Analyse des Umwelthaftungsrechts. Unveröffentlichtes Manuskript.
- Seibt, C. (1994): Zivilrechtlicher Ausgleich ökologischer Schäden. Tübingen: Mohr.
- Sentker, A., Tomiuk, J. und Wöhrmann, K. (1994): Manipulierte Gene – sicher unter menschlicher Kontrolle? Biologie in unserer Zeit 24 (2), 85–90.
- Seralgedin, I. (1996): Sustainability and the wealth of nations. Washington, DC: World Bank.
- Seydel, R. (1988): From equilibrium to chaos. Amsterdam: Elsevier.
- Shafer, B. P., Garcia, M. D., Scammon, R. J., Snell, C. M., Stellingwerf, R. F., Remo, J. L., Managan, R. A. und Rosenkilde, C. E. (1994): The coupling of energy to asteroids and comets. In: Gehrels, T. (Hrsg.): Hazards due to comets and asteroids. Tucson: University of Arizona Press, 955–1013.
- Shand, H. (1997): Human nature: Agricultural biodiversity and farm-based food security. Unabhängige Studie des Rural Advancement Foundation International (RAFI) für die Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rom: FAO.
- Sharpe, R. M., Turner, K. J. und Sumpter, J. P. (1998): Endocrine disruptors and testis development (letter). Environmental Health Perspectives 106 (5), 220–221.
- Shavell, S. (1987): Economic analysis of accident law. Cambridge, Ma.: Harvard University Press.
- Shimbrot, T., Ott, E., Grebogi, C. und Yorke, E. (1992): Using chaos to direct orbits to targets in systems describable by a one-dimensional map. Physical Review A45 (6), 4165–4168.
- Shirakawa, T., Enomoto, T., Shimazu, S. und Hopkin, J. M. (1997): The inverse association between tuberculin responses and atopic disorder. Science 275, 77–79.
- Shogren, J. F., Herriges, J. A. und Godivindasamy, R. (1993): Limits to environmental bonds. Ecological Economics 8, 109–133.
- Short, J. F. (1984): The social fabric of risk: Toward the social transformation of risk analysis. American Sociological Review 49, 711–725.
- Shrader-Frechette, K. S. (1984): Risk-cost-benefit methodology and equal protection. In: Covello, V. T., Menkes, J. und Mumpower, J. (Hrsg.): Risk evaluation and management. New York, London: Plenum Press, 275–296.
- Shrader-Frechette, K. (1985): Risk analysis and scientific method: Methodological and ethical problems with evaluating societal risks. Dordrecht: Reidel.
- Shrader-Frechette, L. (1991): Risk and rationality. Philosophical foundations for populist reforms. Berkeley: University of California Press.
- Shubik, M. (1991): Risk, society, politicians, scientists, and people. In: Shubik, M. (Hrsg.): Risk, organizations, and society. Dordrecht: Kluwer, 7–30.
- Siebert, H. (1987a): Umweltschäden als Problem der Unsicherheitsbewältigung: Prävention und Risikoallokation. In: Bayerische Rückversicherung (Hrsg.) (1987): Gesellschaft und Unsicherheit. Karlsruhe: Versicherungswirtschaft, 173–185.
- Siebert, H. (1987b): Risk and environmental allocation. Sonderforschungsbereich 178 „Internationalisierung der Wirtschaft“. Konstanz: Universität Konstanz.
- Siebert, H. (1988): Haftung ex post versus Anreize ex ante: Einige Gedanken zur Umweltpolitik bei Unsicherheit. In: Niklisch, F. (Hrsg.): Prävention im Umweltrecht – Risikoversorge, Grenzwerte, Haftung. Heidelberg: Müller, 111–132.
- Sieler, C. und Sekul, S. (1995): Die EG-Öko-Audit-Verordnung. Wirtschaftswissenschaftliches Studium 24 (5), 253–255.
- Sims, J. und Baumann, D. (1972): The tornado threat: Coping styles of the North and the South. Science, 176, 1386–1392.
- Singer, E. und Endreny, P. (1987): Reporting hazards: Their benefits and costs. Journal of Communication 37 (3), 10–26.
- Singer, E. und Endreny, P. (1993): Reporting on risk. How the mass media portray accidents, diseases, disasters, and other hazards. New York: Russel Sage Foundation.
- Sinn, H.-W. (1986): Risiko als Produktionsfaktor. Jahrbuch für Nationalökonomie und Statistik 201 (6), 557–570.
- Skinner, J. A., Lewis, K. A., Bardon, K. S., Tucker, P., Catt, J. A. und Chambers, B. J. (1997): An overview of the environmental impact of agriculture in the U. K. Journal of Environmental Management 50, 111–128.
- Skorupinski, B. (1996): Gentechnik für die Schädlingsbekämpfung. Eine ethische Bewertung der Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen in der Landwirtschaft. Stuttgart: Enke.
- Slaper, H., Velders, G. J. M., Daniel, J. S., Degroijl, F. R. und van der Leun, J. C. (1996): Estimates of ozone depletion and skin cancer incidence to examine the Vienna-Convention achievements. Nature 384, 256–258.
- Slotine, J. J. und Li, W. (1991): Applied nonlinear control. New Jersey: Prentice Hall.
- Slovic, P. (1987): Perception of risk. Science 236 (4799), 280–285.
- Slovic, P., Fischhoff, B. und Lichtenstein, S. (1985): Rating the risks: The structure of expert and lay perceptions. In: Covello, V. T., Mumpower, J. L., Stallen, P. J. M. und Uppuluri, V. R. R. (Hrsg.): Environmental impact assessment, technology assessment, and risk analysis. Band 4. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 131–156.
- Slovic, P., Fischhoff, B. und Lichtenstein, S. (1986): The psychometric study of risk perception. In: Covello, V. T., Menkes, J. und Mumpower, J. (Hrsg.): Risk evaluation and management. New York, London: Plenum Press, 3–24.
- Smallwood, K. S. (1994): Site invasibility by exotic birds and mammals. Biological Conservation 69, 251–259.
- Smayda, T. J. (1990): Novel and nuisance algal blooms in the

- sea: Evidence for a global epidemic. In: Graneli, E. (Hrsg.): Toxic marine phytoplankton. Proceedings of the 4th International Conference Lund Sweden 26–30 Juni 1989. Amsterdam: Elsevier, 29–40.
- Smayda, T. J. (1997): What is a bloom? A commentary. *Limnology and Oceanography* 42 (5, Teil 2) 1132–1136.
- Smith, V. K. (1986): A conceptual overview of the foundations of benefit-cost analysis. In: Bentkover, J. D., Covello, V. T. und Mumpower, J. (Hrsg.): Benefits assessment: The state of the art. Dordrecht: Reidel, 13–34.
- Snider, D. E. und Castro, K. G. (1998): The global threat of drug-resistant Tuberculosis. *The New England Journal of Medicine* 338, 1689–1690.
- Sojref, D. und Thamm, D. (1997): Gentechnik in Mittel- und Osteuropa. Analyse der gesetzlichen Regelungen, Forschungsschwerpunkte und Stand der Freisetzung in ausgewählten Ländern. Berlin: Umweltbundesamt (UBA).
- Solow, R. M. (1971): The economist's approach to pollution control. *Science* 173, 498–503.
- Sopolski, H. M. (1990): The politics of risk. *Daedalus* 119 (4), 83–96.
- Soto A. M., Sonnenschein, C., Chung, K. L., Fernandez, M. F., Olea, N. und Serrano, F. O. (1995): The E-Screen Assay as a tool to identify estrogens: An update on estrogenic environmental pollutants. *Environmental Health Perspectives* 103, 113–122.
- Spada, H. und Ernst, A. M. (1992): Wissen, Ziele und Verhalten in einem ökologisch-sozialen Dilemma. In: Pawlik, K. und Stapf, K. H. (Hrsg.): Umwelt und Handeln. Bern: Huber, 83–106.
- Spittler, G. (1989): Handeln in einer Hungerkrise: Tuaregnomaden und die große Dürre von 1984. Opladen: Leske und Budrich.
- SRU – Sachverständigenrat für Umweltfragen (1998): Umweltgutachten 1998. Stuttgart: Metzler-Poeschel.
- SRU – Sachverständigenrat für Umweltfragen (1988): Umweltgutachten 1987. Stuttgart: Kohlhammer.
- Stahlschmidt-Allner, P., Allner, P., Römbke, J. und Knacker, T. (1997): Endocrine disruptors in the aquatic environment. *Environmental Science and Pollution Research* 4, 155–162.
- Staudt, E., Auffermann, S., Schroll, M. und Interthal, J. (1997): Innovation trotz Regulation: Freiräume für Innovationen in bestehenden Gesetzen – Untersuchungen am Beispiel des Chemikaliengesetzes. Bochum: Institut für angewandte Innovationsforschung.
- Steffen, E. (1990): Verschuldungshaftung und Gefährdungshaftung für Umweltschäden. *Neue Juristische Wochenschrift* 43 (30), 1817–1822.
- Steger, U. (1995): Umwelt-Auditing. In: Junkernheinrich, M., Klemmer, P. und Wagner, G.-R. (Hrsg.): Handbuch zur Umweltökonomie. Berlin: Analytica, 245–250.
- Stein, J. und Lotstein, R. (1995): Resistance management strategy for Ciba seeds' Transgenic Bt Corn. ISB News Report (December), 10–14.
- Stocker, T. F. und Schmittner, A. (1997): Influence of CO₂ emission rates on the stability of the thermohaline circulation. *Nature* 388, 862–866.
- Stommel, H. (1961): Thermohaline convection with two stable regimes of flow. *Tellus* 13, 224–230.
- Stone, T. und Feldman, J. (1995): Development of a comprehensive resistance management plan for NewLeaf potatoes. ISB News Report (December), 7–10.
- Streit, B. (1994): Lexikon Ökotoxikologie. Weinheim: VCH.
- Swift, J. (1989): Why are rural people vulnerable to famine? *IDS Bulletin* 20, 8–15.
- Tait, N. und Mead, G. (10.12.1997): Nature's errant child blows hot and cloud. London: Financial Times.
- Tappeser, B. und Wurz, A. (1996): Freisetzungsrisiken gentechnisch manipulierter Organismen. Widersprüche und Diskrepanzen zu Deregulierungsabsichten des Gentechnikgesetzes und angestrebten Verfahrensvereinfachung bei gentechnischen Genehmigungsverfahren. Freiburg: Öko-Institut.
- Taubenberger, J. K., Reid, A. H., Krafft, A. E., Bijwaard, K. E. und Fanning, T. G. (1997): Initial characterization of the 1918 „Spanish“ influenza virus. *Science* 275, 1793–1796.
- Tepfer, M. (1993): Viral genes and transgenic plants? What are the potential environmental risks? *Bio/Technology* 11, 1125–1129.
- Tepfer, M. und Balázs, E. (1997a): Concluding remarks and recommendations. In: Tepfer, M. und Balázs, E. (Hrsg.): Virus-resistant transgenic plants: Potential ecological impact. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 121–123.
- Tepfer, M. und Balázs, E. (1997b) (Hrsg.): Virus-resistant transgenic plants: Potential ecological impact. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Tiedje, J. M., Colwell, R. K., Grossman, Y. L., Hodson, R. E., Lenski, R. E., Mack, R. N. und Regal, P. J. (1989): The planned introduction of genetically engineered organisms: Ecological considerations and recommendations. *Ecology* 70, 298–315.
- Tietzel, M. (1985): Wirtschaftstheorie und Unwissen – Überlegungen zur Wirtschaftstheorie jenseits von Risiko und Unsicherheit. Tübingen: Mohr.
- Tilman, D., Wedin, D. und Knops, J. (1996): Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature* 379, 718–720.
- Tilman, D., Knops, J., Wedin, D., Reich, P., Ritchie, M. und Sieman, E. (1997): The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science* 277, 1300–1302.
- Timmermann, P. und White, R. (1997): Megahydropolis: Coastal cities in the context of global environmental change. *Global Environmental Change* 7 (3), 205–234.
- Tittes, E. (1986): Zur Problematik der Wahrscheinlichkeitsrechnung bei seltenen Ereignissen. In: Kompe, P. C. (Hrsg.): Technische Risiken in der Industriegesellschaft. Erfassung, Bewertung, Kontrolle. Wuppertal: GfS, 345–372.
- Toon, O. B., Zahnle, K., Turco, R. P. und Covey, C. (1994): Environmental impact perturbations caused by asteroid impacts. In: Gehrels, T. (Hrsg.): Hazards Due To Comets And Asteroids. Tuscon: University of Arizona Press, 791–826.
- Torsello, L. und Vercelli, A. (1994): Environmental bonds: A critical assessment. Siena: Universität Siena.
- Toth, F. L., Bruckner, T., Füssel, H.-M., Leimbach, M., Petscheld, G. und Schellnhuber, H.-J. (1997): The tolerable windows approach to integrated assessments. Proceedings of the IPCC Asia-Pacific Workshop on Integrated Assessment Models, Tokyo, Japan, 10–12th March 1997. Genf: IPCC Sekretariat.
- Turco, R. P., Toon, O. B., Ackerman, T. P., Pollack, J. P. und Sagan, C. (1982): Nuclear Winter: Consequences of multiple nu-

- clear explosions. *Science* 222, 1283–1292.
- Turner, K., O’Riordan, T. und Kemp, R. (1991): Climate change and risk management. In: Jäger, R. und Ferguson, H. L. (Hrsg.): *Climate change: Science, impacts and policy. Proceedings of the Second World Climate Conference*. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 397–409.
- Turner II, B. L., Kasperson, J. X., Kasperson, R. E., Dow, K. und Meyer, W. B. (1995): Comparisons and conclusions. In: Kasperson, J., Kasperson, R. E. und Turner, B. L. (Hrsg.): *Regions at risk – comparisons of threatened environments*. Tokyo: United Nations University Press, 519–588.
- Turner, G. und Wynne, B. (1992): Risk communication – a literature review and some implications for biotechnology. In: Durant, J. (Hrsg.): *Biotechnology in public – a review of recent research*. London: Science Museum, 109–141.
- UBA – Umweltbundesamt (1996): *Langzeitmonitoring von Umwelteffekten transgener Organismen. Arbeitstagung am 5./6. Oktober 1995*. Berlin: UBA.
- UBA – Umweltbundesamt (1998): *Ursachen der Hochwasserentstehung und ihre anthropogene Beeinflussung. UBA-Texte 18/98*. Berlin: UBA.
- Ulrich, B. und Sumner, M. E. (Hrsg.) (1991): *Soil acidity*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- UN – United Nations (1992): *Erklärung zur „Verantwortung des Sicherheitsrates im Hinblick auf die Wahrung des Weltfriedens und der internationalen Sicherheit“ vom 31.1.1992, S/23500*. Genf: UN.
- UNAIDS – The Joint United Nations Programme on HIV/AIDS (1997): *1997 Report on the global HIV/AIDS epidemic*. Genf: UNAIDS.
- UNCHS – United Nations Centre for Human Settlements (1996): *An urbanizing world – Global Report on human settlements*. Oxford, N.Y.: Oxford University Press.
- UNCTAD – United Nations Conference on Trade and Development (1997): *Trade and Development Report 1997 – Globalization, distribution and growth*. New York, Genf: UNCTAD.
- UNDP – United Nations Development Programme (1992): *Human Development Report 1992*. Oxford, New York: Oxford University Press.
- UNDP – United Nations Development Programme (1997): *Bericht über die Menschliche Entwicklung. Human Development Report*. Bonn: UNO Verlag.
- UN-ECE – United Nations Economic Commission for Europe (1997): *Workshop on critical limits and effect based approaches for heavy metals and persistent organic pollutants. Background Documents*. Genf: UN-ECE.
- UN-ECE – United Nations Economic Commission for Europe und EC – European Commission (1997): *Forest condition in Europe. 1997 Executive Report*. Genf: UN-ECE.
- UNEP – United Nations Environment Programme (1996): *Survey on sources of POPs, report prepared for an IFCS expert meeting on persistent organic pollutants, Manila, 17.–19.6.1996*. Nairobi: UNEP.
- UNPD – United Nations Population Division (1998): *World population prospects. The 1998 revision*. Genf: UNPD.
- van den Daele, W. (1993): *Hintergründe der Wahrnehmung von Risiken der Gentechnik: Naturkonzepte und Risikosemantik*. In: Bayerische Rückversicherung (Hrsg.): *Risiko ist ein Konstrukt – Wahrnehmungen zur Risikowahrnehmung*. München: Knesbeck, 169–189.
- van den Daele, W., Pühler, A. und Sukopp, H. (1996): *Grüne Gentechnik im Widerstreit: Modell einer partizipativen Technikfolgenabschätzung zum Einsatz transgener herbizidresistenter Pflanzen*. Weinheim: VCH.
- van den Daele, W., Pühler, A. und Sukopp, H. (1997): *Transgenic herbicide-resistant crops. A participatory technology assessment. summary report*. Berlin: Wissenschaftszentrum Berlin (WZB).
- van der Ploeg, R. R., Ringe, H., Machulla, G. und Hermsmeyer, F. (1997): *Postwar nitrogen use efficiency in West German agriculture and groundwater quality*. *Journal of Environmental Quality* 26, 1203–1212.
- van der Voet, E., Kleijn, R. und de Haes, U. H. A. (1996): *Nitrogen pollution in the European Union – Origins and proposed solutions*. *Environmental Conservation* 23 (2), 120–132.
- van Loveren, H., Steerenberg, P. A., Garssen, J. und van Bree, L. (1996): *Interaction of environmental chemicals with respiratory sensitization*. *Toxicology Letters* 86, 163–167.
- Vaughan, E. (1993): *Individual and cultural differences in adaptation to environmental risks*. *American Psychologist* 48 (6), 673–680.
- Vaughan, M. (1987): *The story of an African famine: Gender and famine in twentieth-century Malawi*. Cambridge, New York: Port.
- Veerhoff, M., Roscher, S. und Brümmer, G. W. (1996): *Ausmaß und ökologische Gefahren der Versauerung von Böden unter Wald*. Berlin: Umweltbundesamt (UBA).
- Vitousek, P. M. (1986): *Biological invasions and ecosystem properties: Can species make a difference?* In: Mooney, H. A. und Drake, J. A. (Hrsg.): *Ecology of biological invasions of North America and Hawaii*. *Ecological Studies* 58. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 163–176.
- Vitousek, P. M. (1990): *Biological invasions and ecosystem processes: Towards an integration of population biology and ecosystem studies*. *Oikos* 57, 7–13.
- Vitousek, P. M. (1994): *Beyond global warming: Ecology and global change*. *Ecology* 75 (7), 1861–1876.
- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J. und Melillo, J. M. (1997): *Human domination of Earth’s ecosystems*. *Science* 277, 494–499.
- Vlek, C. A. (1996): *A Multi-level, multi-stage and multi-attribute perspective on risk assessment, decision-making, and risk control*. *Risk, Decision, and Policy* 1 (1), 9–31.
- von Bar, C. (1995) (Hrsg.): *Internationales Umwelthaftungsrecht – Auf dem Weg zu einer Konvention über Fragen des Internationalen Umwelthaftungsrechts*. Band 1. Köln: Heymann, 15–29.
- von Gleich, A. (1997): *Beurteilungskriterien beim Einsatz gentechnischer Verfahren in der Lebensmittelindustrie*. In: Bender, W., Gassen, H. G., Platzer, K. und Sinemus, K. (Hrsg.): *Gentechnik in der Lebensmittelproduktion. Wege zum interaktiven Dialog*. Darmstadt: TH Darmstadt, 177–214.
- von Hayek, F. A. (1991): *Die Verfassung der Freiheit*. Tübingen: Mohr.
- von Hoffmann, B. (1998): *Art. 38 EGBGB. Kommentar zum Bürgerlichen Gesetzbuch*. Berlin: deGruyter.
- von Mehren, A. (1997): *The case for a convention-mixed approach to jurisdiction to adjudicate and recognition and enforce-*

- ment of foreign judgements. *Labels Zeitschrift* 61, 86–92.
- von Mutius, E., Fritsch, C., Weiland, S. K., Röhl, G. und Magnusen, H. (1992): Prevalence of asthma and allergic disorders among children in united Germany: A Descriptive Comparison. *British Medical Journal* 305, 1395–1399.
- von Piechowski, M. (1994): Risikobewertung in der Schweiz. Neue Entwicklungen und Erkenntnisse. Unveröffentlichtes Manuskript.
- von Schell, T. (1994): Die Freisetzung gentechnisch veränderter Mikroorganismen. Ein Versuch interdisziplinärer Urteilsbildung. Tübingen: Attempto.
- von Schell, T. (1998): Zur Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen. In: Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland GmbH (Hrsg.): *Gen-Welten*. Bonn: Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland GmbH, 109–116.
- von Schomberg, R. (1998): An appraisal of the working in practice of Directive 90/220/EEC on the deliberate release of genetically modified organisms. Luxembourg: European Parliament. Directorate General for Research.
- von Winterfeld, D. und Edwards, W. (1984): Patterns of conflict about risky technologies. *Risk Analysis* 1, 277–287.
- von Winterfeldt, D. und Edwards, W. (1986): *Decision analysis and behavioral research*. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- Wadman, M. (1997): Dispute over insect resistance to crops. *Nature* 388, 817.
- Wätzold, F. (1997): Anwendbarkeit und Effizienz umweltökonomischer Konzeptionen bei ökologischer Unsicherheit. In: Feser, H.-D. und von Hauff, M. (Hrsg.): *Neuere Entwicklungen in der Umweltökonomie und -politik*. Regensburg: Transfer, 59–88.
- Wätzold, F. und Simonis, U. E. (1997): Ökologische Unsicherheit: Über Möglichkeiten und Grenzen von Umweltpolitik. *Aus Politik und Zeitgeschichte – Beilage zur Wochenzeitung „Das Parlament“* 27. 27.6.1997, 3–14.
- Wagner, W. (1994): *Alltagsdiskurs – Die Theorie sozialer Repräsentationen*. Göttingen: Hogrefe.
- Wagner, G. R. (1991): Entrepreneurship and innovation from an environmental risk perspective. In: Roberts, L. und Weale, A. (1991): *Innovation and environmental risk*. London, New York: Belhaven, 138–148.
- Wagner, G. R. und Janzen, H. (1994): Umwelt-Auditing. *Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis* 6, 573–604.
- Wahl, R. (1994): Erlaubnis. In: Kimmich, O., von Lersner, H. und Storm, P.-C. (Hrsg.): *Handwörterbuch des Umweltrechts*. Band I. Berlin: Schmidt, 528–542.
- Walker, B. und Steffen, W. (Hrsg.) (1996): *Global change and terrestrial ecosystems*. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- Walker, E. und Christie, P. (1998): Chinese avian influenza. *British Medical Journal* 316, 325.
- Walker, B., Steffen, W., Canadell, J. und Ingram, J. (1998): The terrestrial biosphere and global change: Implications for natural and managed ecosystems – executive summary. In: Walker, B., Steffen, W., Canadell, J. und Ingram, J. (Hrsg.): *The terrestrial biosphere and global change*. Cambridge, New York: Cambridge University Press (im Druck).
- Walter, G. (1997): *Neuere Entwicklungen im internationalen Zivilprozeßrecht*. In: Prütting, H. (Hrsg.): *Festschrift für Lüke*. München: Beck, 921–940.
- Wartenberg, D. und Greenberg, M. (1998): EMF and the media: Coverage by three major U.S. daily newspapers. In: Matthes, R., Bernhardt, J. H. und Repacholi, M. H. (Hrsg.): *Risk perception, risk communication and its application to EMF exposure*. Proceedings International Seminar on Risk Perception, Risk Communication and its Application to EMF Exposure, Vienna, Austria, October 22 and 23, 1997. Wien: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection and World Health Organization (WHO), 215–228.
- Watts, M. J. und Bohle, H. G. (1993a): The space of vulnerability: The causal structure of hunger and famine. *Progress in Human Geography* 17 (1), 43–67.
- Watts, M. J. und Bohle, H. G. (1993b): Hunger, famine and the space of vulnerability. *GeoJournal* 30, 117–125.
- Watzlawick, P., Beavin, J. H. und Jackson, D. D. (1993): *Menschliche Kommunikation – Formen, Störungen, Paradoxien*. Bern, Stuttgart, Toronto: Huber.
- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (1993): *Welt im Wandel: Grundstruktur globaler Mensch-Umwelt-Beziehungen*. Jahresgutachten 1993. Bonn: Economica.
- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (1994): *Welt im Wandel: Die Gefährdung der Böden*. Jahresgutachten 1994. Bonn: Economica.
- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (1995): *Szenario zur Ableitung globaler CO₂-Reduktionsziele und Umsetzungsstrategien*. Stellungnahme zur 1. Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention in Berlin. Bremerhaven: WBGU.
- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (1996a): *Welt im Wandel: Wege zur Lösung globaler Umweltprobleme*. Jahresgutachten 1995. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (1996b): *Welt im Wandel: Herausforderung für die deutsche Wissenschaft*. Jahresgutachten 1996. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (1997): *Ziele für den Klimaschutz*. Stellungnahme zur dritten Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention in Kyoto. Bremerhaven: WBGU.
- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (1998a): *Welt im Wandel: Wege zu einem nachhaltigen Umgang mit Süßwasser*. Jahresgutachten 1997. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (1998b): *Die Anrechnung biologischer Quellen und Senken im Kyoto-Protokoll: Fortschritt oder Rückschlag für den globalen Umweltschutz?* Sondergutachten 1998. Bremerhaven: WBGU.
- WCMC – World Conservation Monitoring Centre (1997): *Generalized world forest map*. Internet-Datei <http://www.wcmc.org.uk/forest/data/wfm.html>. Genf: WCMC.
- Weber, K. (1988): *Forschungspolitische Früherkennung: zwei Jahre Projekterfahrung*. In: Knoepfel, P. (Hrsg.): *Risiko und Risikomanagement*. Basel, Frankfurt/M.: Helbing & Lichtenhahn, 111–121.
- Webler T., Levine, D., Rakel, H. und Renn, O (1991): *A novel*

- approach to reducing uncertainty: The Group Delphi. *Technological Forecasting and Social Change* 39 (3), 253–263.
- Webster, R. G. und Laver, W. G. (1972): The origin of pandemic influenza. *Bull-World-Health-Organ*, 47, 449–452.
- Wegner, G. (1994): Marktkonforme Umweltpolitik zwischen Dezisionismus und Selbststeuerung. Walter Eucken Institut, Vorträge und Aufsätze 143. Tübingen: Mohr.
- Weick, K. E. (1987): Organizational culture as a source of high reliability. *California Management Review* 29 (2), 112–127.
- Weinrich, H. (1972): System, Diskurs, Didaktik und die Diktatur des Sitzfleisches. *Merkur* 8, 801–812.
- Weissman, P. R. (1994): The comet and asteroid impact hazard in perspective. In: Gehrels, T. (Hrsg.): *Hazards due to comets and asteroids*. Tuscon: University of Arizona Press, 1191–1212.
- Wells, G. A., Wilesmith, J. W. und McGill, I. S. (1991): Bovine spongiform encephalopathy: A neuropathological perspective. *Brain Pathology* 1, 69–78.
- Wenninger, G. und Graf Hoyos, C. (Hrsg.) (1996): Arbeits-, Gesundheits- und Umweltschutz. Handwörterbuch verhaltenswissenschaftlicher Grundbegriffe. Heidelberg: Asanger.
- WHO – World Health Organization (1996a): Melanoma cooperative group. Genf: WHO.
- WHO – World Health Organization (1996b): Climate change and human health. Genf: WHO.
- WHO – World Health Organization (1997a): Global AIDS surveillance. *WHO Weekly Epidemiological Record* (48), 357–360.
- WHO – World Health Organization (1997b): HIV/AIDS: The global epidemic. *WHO Weekly Epidemiological Record* (4), 17–21.
- WHO – World Health Organization (1997c): World Health Report 1997. Genf: WHO.
- Wicke, L. (1990): Der ökonomische Wert der Ökologie. In: Schütz, M. (Hrsg.): *Risiko und Wagnis: Die Herausforderung der industriellen Welt*. Band 1. Pfullingen: Neske, 210–227.
- Wiedemann, P. M. und Schütz, H. (1996): Elektromagnetische Felder und Risikowahrnehmung. In: Preuss, V. (Hrsg.): *Risikoanalysen. Über den Umgang mit Gesundheits- und Umweltgefahren*. Heidelberg: Asanger, 204–213.
- Wiedemann, P. M., Rohrmann, B. und Jungermann, H. (1991): Das Forschungsgebiet „Risiko-Kommunikation“. In: Jungermann, H., Rohrmann, B. und Wiedemann, P. (Hrsg.): *Risikokontroversen – Konzepte, Konflikte, Kommunikation*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1–10.
- Wiedemann, P. M., Bobis-Seidenschwanz, A. und Schütz, H. (1994): Elektromog – Ein Risiko? Bedeutungskonstitution von Risiken hochfrequenter elektromagnetischer Felder. *Arbeiten zur Risikokommunikation* Heft 44. Jülich: Programmgruppe Mensch, Umwelt, Technik (MUT) des Forschungszentrums Jülich.
- Wiese, G. T. (1998): Wahrscheinlichkeitshaftung. Anmerkungen zu einem alternativen Haftungskonzept. *Zeitschrift für die Rechtspraxis* (1), 27–31.
- Wildavsky, A. (1984): Die Suche nach einer fehlerlosen Risikominderungsstrategie. Lange, S. (Hrsg.): *Ermittlung und Bewertung industrieller Risiken*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 224–233.
- Wildavsky, A. und Dake, K. (1990): Theories of risk perception: Who fears what and why? *Daedalus* 119, 41–60.
- Will, R. G., Ironside, J. W., Zeidler, M., Cousens, S. N., Estibeiro, K., Alperovitch, A., Poser, S., Pocchiari, M., Hofmann, A. und Smith, P. G. (1996): A new variant of Creutzfeldt-Jakob Disease in the UK. *Lancet* 347, 921–925.
- Williams, C. H. (1998a): Global environment and human intelligence. *The Globe* 42, 11–13.
- Williams, K. (1998b): Biological control of european rabbits in Australia. Externes Gutachten für den WBGU. Unveröffentlichtes Manuskript.
- Williams, G., Stretton, T. B. und Leonard, J. C. (1983): AIDS in 1959? [letter]. *Lancet* 2, 1136.
- Wilson, R. und Crouch, E. A. C. (1987): Risk assessment and comparisons: An introduction. *Science* 236, 267–270.
- Winkler, M. (1995): Ökologische Intervention im internationalen Recht? *Natur und Recht* 17 (2), 57–61.
- WMO – World Meteorological Organization (1997): Global acid deposition assessment. In: Whelpdale, D. M. und Kaiser M. S. (Hrsg.): *WMO-TD No. 777*. Genf: WMO, 241ff.
- Woodwell, G. und Mackenzie, F. T. (Hrsg.) (1995): *Biotic feedbacks in the global climatic system – will the warming feed the warming?* Oxford, N.Y.: Oxford University Press.
- Wüthrich, B. (1989): Epidemiology of allergic disease: Are they really in the increase? *International Archives of Allergy and Applied Immunology* 90, 3–10.
- Wynne, B. (1991): Public perception and communication of risks: What do we know? *The Journal of NIH Research* 3, 65–71.
- Wynne, B. (1992): Risk and social learning: Reification to engagement. In: Krinsky, S. und Golding, D. (Hrsg.): *Social theories of risk*. Westport, CT, London: Praeger, 275–297.
- Yemaneberhan, H., Berkele, Z., Venn, A., Lewis, S., Parry, E. und Britton, J. (1997): Prevalence of wheeze and asthma and relation to atopy in urban and rural Ethiopia. *Lancet* 350, 85–90.
- Yuen, K. Y., Chan, P. K. S., Peiris, M., Tsang, D. N. C., Que, T. L., Shortridge, K. F., Cheung, P. T., To, W. K., Ho, E. T. F., Sung, R., Cheng, A. F. B. und Mitglieder der H5N1 Study Group (1998): Clinical features and rapid viral diagnosis of human disease associated with avian influenza A H5N1 virus. *Lancet* 351, 467–471.
- Zaitsev, Y. P. (1993): Impacts of eutrophication on the Black Sea fauna. *Fisheries and Environment Studies in the Black Sea System*. Rom: Food and Agriculture Organization (FAO).
- Zaslavsky, D. (1997): Solar energy without a collector for electricity and water in the 21st century. A lecture presented at the 150 years anniversary of the Austrian Academy of Sciences on May 1997. Haifa: Technion. Israel Institute of Technology.
- Zhu, T. F., Korber, B. T., Nahmias, A. J., Hooper, E., Sharp, P. M. und Ho, D. D. (1998): An African HIV-1 sequence from 1959 and implications for the origin of the epidemic. *Nature* 391, 594–597.
- Zilleßen, H. (1993): Die Modernisierung der Demokratie im Zeichen der Umweltpolitik. In: Zilleßen, H., Dienen P. C. und Strubelt, W. (Hrsg.): *Die Modernisierung der Demokratie*. Opladen: Westdeutscher Verlag, 17–39.
- Zimmermann, H. (1984): Ökonomische Anreizinstrumente in der Umweltpolitik – Einsatzbegründung, Formen sowie die Wirkung in verschiedenen Typen von Verdichtungsgebieten.

- Bochum: Ruhr-Forschungsinstitut für Innovations- und Strukturpolitik.
- Zimmermann, H. und Henke, K.-D. (1994): Finanzwissenschaft – Eine Einführung in die Lehre von der öffentlichen Finanzwirtschaft. München: Vahlen.
- Zimmermann, H., Wohltmann, M. und Hansjürgens, B. (1996): Umweltabgaben und Innovationen. Berlin: Analytica.
- Zimmermann, P. H., Feichter, J., Rath, H. K., Crutzen, P. J. und Weiss, W. (1989): A global three-dimensional source-receptor model investigation using ⁸⁵Kr. Atmospheric Environment 23, 25–35.
- ZKBS – Zentrale Kommission für die Biologische Sicherheit (1997): Stellungnahme der ZKBS zum Ampicillinresistenz-Gen in gentechnisch verändertem Mais. Internet-Datei <http://www.rki.de/gentec/zkbs/allgstell/stell.htm>. Berlin: ZKBS.
- Zschau, J. (1998): Geophysikalische Risiken mit dem Schwerpunkt Erdbeben. Externes Gutachten für den WBGU. Unveröffentlichtes Manuskript.
- Zuckerman, M. (1979): Sensation seeking and risk taking. In: Caroll, C. E. (Hrsg.): Emotions in personality and psychopathology. New York: Plenum Press, 163-197.
- Zürn, M. und Take, I. (1996): Weltrisikogesellschaft und öffentliche Wahrnehmung globaler Gefährdungen. Aus Politik und Zeitgeschichte (24–25), 3–13.
- Zylicz, T. (1987): Environmental risk analysis and management. EKO-Series No. 8710. Warschau: Universität Warschau.

Abschätzungssicherheit ist der Grad der Verlässlichkeit in der Bestimmung der Risikokomponenten → Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß. Voraussetzung ist, daß diese Komponenten sich bestimmen lassen, daß also weder → Ahnungslosigkeit noch Unbestimmtheit vorliegen. Ist die Verteilungsfunktion von Eintrittswahrscheinlichkeiten und korrespondierenden → Schadenspotentialen bekannt, ist die Abschätzungssicherheit hoch. Ist diese jedoch mit erheblichen Fehlerkorridoren versehen, dann ist die Abschätzungssicherheit gering. Läßt sich die Abschätzungssicherheit durch statistische Verfahren (beispielsweise durch Angabe von → Konfidenzintervallen) quantifizieren, so wird von statistischer Unsicherheit gesprochen.

Ahnungslosigkeit bedeutet Unkenntnis sowohl über die möglichen Schadensfolgen als auch über die → Eintrittswahrscheinlichkeit.

Damokles bezeichnet als Typ die Risiken des Globalen Wandels, bei denen das → Schadenspotential und die → Abschätzungssicherheit hoch, die Eintrittswahrscheinlichkeit aber niedrig sind.

Degradation bezeichnet die Veränderung von Ökosystemen, die zum Verlust bzw. zur Beeinträchtigung ihrer Funktionen führt.

Disposition bezeichnet in der Syndromanalyse die strukturelle Anfälligkeit einer Region für ein bestimmtes Syndrom.

Effektivschaden oder **Realschaden** bezeichnen eine Schadenskategorie, die sich auf Einbußen an realen Lebenswerten bezieht. Hierzu gehören Sachschäden und leibseelische Schäden, also Beeinträchtigungen eines Rechtsguts, Rechts oder rechtlich geschützten Interesses.

Eintrittswahrscheinlichkeit eines Risikos ist neben dem Schadensausmaß eine der beiden zentralen Kategorien des → Risikos. Sie bezeichnet die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines Ereignisses, das einen → Schaden auslöst

Erwartungswert eines Risikos ist das erwartete Schadensausmaß. Er wird durch die Integration über alle möglichen → Schäden, gewichtet mit ihren → Eintrittswahrscheinlichkeiten, ermittelt.

Exposition bezeichnet in der Syndromanalyse natürliche und vom Menschen verursachte Ereignisse oder Prozesse, die meist kurzfristig sind (wie etwa plötzliche Naturkatastrophen oder Wechselkurs-

schwankungen) und in einer krisenanfälligen Region – wo eine → „Disposition“ vorliegt – ein Syndrom auslösen können.

Expression bezeichnet die Biosynthese des funktionsfähigen Produkts eines Gens (z. B. ein Enzym).

Gefahr bezeichnet eine objektive Bedrohung durch ein zukünftiges Schadensereignis, das unter bestimmten Bedingungen eintritt. Ein → Risiko ist dagegen ein mentales Konstrukt, das dazu dient, Gefahren zu bestimmen. Risikoabschätzungen sind immer nur Annäherungen an die objektive Gefahr, die man nur nach dem Eintritt des → Schadens sicher kennen kann.

Globales Beziehungsgeflecht bezeichnet in der Syndromanalyse ein qualitatives Netzwerk aus allen vom Syndromkonzept erfaßten Trends des Globalen Wandels und ihre Wechselwirkungen. Das Globale Beziehungsgeflecht bietet eine hochaggregierte, auf einzelne Phänomene bezogene Systembeschreibung des Globalen Wandels.

Grenzbereich bezeichnet in der Terminologie des Beirats eine Kategorie des → Risikos, das sich im kritischen Bereich (also nicht im → Normalbereich) befindet, in dem die Umsetzung von risikoreduzierenden Maßnahmen eine Überführung in den Normalbereich verspricht.

Irreversibilität bezeichnet eines der vom Beirat verwendeten Beurteilungskriterien für die Bewertung von Risiken. Sie mißt den Grad der Nichtwiederherstellbarkeit des Zustands vor Schadensereignis. Im Umweltbereich geht es dabei vorrangig um die typenmäßige Wiederherstellbarkeit im Rahmen eines dynamischen Wandels, nicht um die individuelle Restaurierung des Urzustands.

Kassandra bezeichnet den Risikotyp des Globalen Wandels, bei dem sowohl → Eintrittswahrscheinlichkeit als auch → Schadenspotential bekannt und hoch sind. Es entsteht aber kaum Betroffenheit in der Gegenwart, weil die Schäden erst nach langer Verzögerung auftreten.

Kernprobleme des Globalen Wandels sind im Syndromansatz die zentralen Phänomene des Globalen Wandels. Im Syndromansatz erscheinen sie als entweder besonders herausragende Trends des Globalen Wandels, wie etwa der Klimawandel, oder sie bestehen aus mehreren zusammenhängenden Trends. Ein solcher „Megatrend“ ist bei-

spielsweise das Kernproblem „Bodendegradation“.

Kompensationsfähigkeit bezeichnet die Möglichkeit, Geschädigte so zu entschädigen, daß sie in etwa einen Nutzensausgleich zwischen Kompensation und ↪Schaden erleben, sofern und soweit der ursprüngliche Zustand nicht wiederhergestellt werden kann oder aus anderen Gründen nicht wiederhergestellt werden sollte.

Konfidenzintervalle geben die Streubreite der Varianz der beiden Risikokategorien Schadensausmaß und ↪Eintrittswahrscheinlichkeit an. Sie sind damit ein Maß für die statistische Unsicherheit. Diese ist aber nur dann angebbbar, wenn sich die Abschätzungssicherheit durch statistische Verfahren quantifizieren läßt.

Kritischer Bereich bezeichnet in der Terminologie des Beirats eine Kategorie von Risiken, für die die die Unsicherheit bei allen Risikoparametern hoch ist, das ↪Schadenspotential bedrohliche Ausmaße annehmen kann und die Eintrittswahrscheinlichkeit hoch ist. ↪Persistenz, ↪Ubiquität und ↪Irreversibilität sind in besonderem Maß gegeben. Der Beirat unterscheidet im kritischen Bereich den ↪Grenzbereich und den ↪Verbotsbereich.

Leitplanken grenzen in der Syndromanalyse den Entwicklungsraum des Mensch-Umwelt-Systems von den Bereichen ab, die unerwünschte oder gar katastrophale Entwicklungen repräsentieren und deshalb vermieden werden müssen. Nachhaltige Entwicklungspfade verlaufen innerhalb des durch diese Leitplanken definierten Korridors. Der Beirat sieht das Leitplankenmodell als ein Hilfsmittel an, um das Entscheidungsdilemma zwischen sozialen, ökologischen und ökonomischen Zielvorstellungen durch eine klare Prioritätensetzung aufzulösen.

Mobilisierungspotential bezeichnet die Verletzung von individuellen, sozialen oder kulturellen Interessen und Werten, die eine entsprechende Reaktion der Betroffenen hervorruft. Diese Reaktionen umfassen den offenen Protest, den Entzug von Vertrauen in die Entscheidungsträger, geheime Sabotageakte oder andere Formen der Gegenwehr. Auch psychosomatische Folgen lassen sich in diese Kategorie aufnehmen.

Medusa bezeichnet als Typ die Risiken des Globalen Wandels, bei denen das ↪Mobilisierungspotential hoch, die mögliche Bedrohung aber nicht statistisch nachweisbar ist.

Nachhaltige oder zukunftsfähige Entwicklung (sustainable development) wird meist als ein umwelt- und entwicklungspolitisches Konzept verstanden, das durch den Brundtland-Bericht formuliert und auf der UN-Konferenz über Umwelt und Entwicklung 1992 in Rio de Janeiro weiterentwickelt wurde. Der WBGU bietet mit seinem Syndromkonzept einen Ansatz zur Operationalisierung dieses Begriffs.

Normalbereich bezeichnet in der Terminologie des Beirats die Kategorie von Risiken, die sich durch geringe ↪Ungewißheit in Bezug auf ↪Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß sowie insgesamt eher geringes ↪Schadenspotential und eher geringe bis mittlere Eintrittswahrscheinlichkeit auszeichnet. Außerdem sind ↪Persistenz und ↪Ubiquität der Risikoverursacher oder -folgen gering und die Reversibilität der Risikofolgen eher hoch. Risiken im Normalbereich weisen keine deutlichen Verzerrungen zwischen der Gruppe der Risikoträger und der Gruppe der Chancen- bzw. Nutzengewinner auf. In diesem Fall entspricht das ↪objektive Risiko nahezu der wissenschaftlichen Risikoabschätzung, so daß eine multiplikative Gewichtung von Ausmaß und Wahrscheinlichkeit unter Einbeziehung der jeweiligen Varianzen zur Beschreibung des Risikos angemessen ist

Objektives Risiko ist eine ideale Größe, die man als relative Häufigkeit erkennbarer Verteilungsmuster von Schadensereignissen in Rückschau auf die gesamte Zeitspanne, in der das Ereignis überhaupt eintreten kann, definieren kann. Das abgeschätzte Risiko und das objektive Risiko liegen um so enger beieinander, je genauer das System verstanden ist, je mehr die relativen Häufigkeiten bekannt sind und je geringer der Systemwandel ist.

Pandora bezeichnet als Typ die Risiken des Globalen Wandels, die durch hohe Werte für ↪Persistenz, ↪Ubiquität und ↪Irreversibilität gekennzeichnet sind. Die Auswirkungen sind häufig noch unbekannt oder es gibt bestenfalls Vermutungen über mögliche schädliche Wirkungen. Das Ausmaß der Schäden geht hier zwar nicht unbedingt gegen unendlich, ist aber groß genug, um eine gegensteuernde Risikopolitik zu rechtfertigen.

Persistenz bezeichnet eines der vom Beirat verwendeten Beurteilungskriterien für die Bewertung von Risiken. Persistenz beschreibt die zeitliche Dauer des Schadens oder des ↪Schadenspotenti-

als. Die Persistenz des \rightarrow Schadens ist ein wichtiges Kriterium bei der Bestimmung der intergenerationalen Gerechtigkeit.

Pythia bezeichnet als Typ die Risiken des Globalen Wandels, bei denen sowohl das \rightarrow Schadenspotential als auch die \rightarrow Eintrittswahrscheinlichkeit weitgehend ungewiß sind.

Resilienz bezeichnet die Eigenschaft eines Systems, nach Auslenkung oder Störung zu einem stabilen Gleichgewichtszustand oder zu einem lokalen Gleichgewicht zurückzukehren (auch: Elastizität).

Risiko umfaßt in einer technischen Risikoperspektive v. a. die Variablen \rightarrow Eintrittswahrscheinlichkeit eines \rightarrow Schadens und Schadensausmaß. In einer sozialwissenschaftlichen Perspektive stehen die Aspekte der sozialen und psychischen Risikoerfahrung und \rightarrow Risikowahrnehmung im Vordergrund, während sozioökonomische Ansätze sich mit Risiken der Überlebenssicherung und der Grundbedürfnisdeckung beschäftigen. Im Gegensatz zur \rightarrow Gefahr ist Risiko ein mentales Konstrukt, um Gefahren näher zu bestimmen und nach dem Grad der Bedrohung zu ordnen, also zur Erfassung komplexer Wirkungsketten mit Zufallsereignissen, die keine direkte Entsprechung in der Wirklichkeit haben.

Risikoakzeptanz ist ein normativer Begriff und gibt an, welche unerwünschten Folgen für eine Gesellschaft noch tragbar sind und welche nicht, wieviel \rightarrow Ungewißheit hinnehmbar ist, wenn die Folgen katastrophal sein können, und ob positive und negative Folgen gerecht verteilt sind.

Risikoanalyse ist der Versuch, mit wissenschaftlichen Methoden möglichst realitätsgetreu die \rightarrow Eintrittswahrscheinlichkeiten von konkreten Schadensfällen oder die Wahrscheinlichkeitsfunktion von Schadensausmaßen auf der Basis von Beobachtung, Modellierung und Szenariobildung zu bestimmen. Mit Hilfe von Risikoanalysen wird versucht, den \rightarrow Erwartungswert des Risikos zu bestimmen.

Risikoanfälligkeit bezeichnet eine besondere Eigenschaft von Regionen oder von einzelnen Gruppen in der Gesellschaft, die mit Blick auf Schadensausmaß oder \rightarrow Eintrittswahrscheinlichkeit stärker oder schwächer gegenüber einem bestimmten Gesamtrisiko anfällig sind.

Risikobewertung bezeichnet Verfahren der rationalen Urteilsfindung über ein \rightarrow Risiko mit Blick auf dessen Zumutbarkeit für die Gesellschaft als Ganzes oder für bestimmte Gruppen oder Individuen. Bestandteil der Risikobewertung ist die wissenschaftliche Risikoanalyse und die durch empirische Studien erfaßte Risikowahrnehmung.

Risikomanagement bezeichnet die Summe der von Menschen oder Organisationen eingeleiteten Maßnahmen zur Reduzierung, Steuerung und Regulierung von Risiken. Darunter fallen politisch gesetzte Grenzwerte, ökonomische Anreize, Haftungsregelungen, Planungstechniken und bildungsfördernde Maßnahmen.

Risikowahrnehmung bezeichnet eine Risikoabschätzung, die weitgehend auf persönlichen Erfahrungen, vermittelten Informationen und intuitiven Einschätzungen beruht, die sich im Verlauf der biologischen und später der kulturellen Evolution herausgebildet haben. Sie umfaßt neben den beiden Kategorien Schadensausmaß und Wahrscheinlichkeit andere Risikoeigenschaften, wie etwa die Reversibilität oder die Verteilung.

Schaden bezeichnet die Zerstörung, Minderung und Beeinträchtigung von konkreten oder abstrakten Werten. Dazu gehören Einbußen an geldwerten Gütern (Vermögensschaden), Lebenschancen (z. B. bei einer Flucht vor Naturkatastrophen) und Lebensqualität (z. B. durch Naturzerstörung). In diese Kategorie fallen auch Formen der ideellen Schädigung, wie beispielsweise der Verlust des Vertrauens in die Integrität politischer Entscheidungsträger. Um einen Schaden als solchen erkennen zu können, braucht es immer das bewertende Subjekt. Der Schadensbegriff ist deshalb anthropozentrisch angelegt. Man unterscheidet zwischen Effektiv- oder Realschäden, Eventualschäden und Ausgleichsschäden.

Schadenspotential ist die Summe der möglichen Schäden, die durch eine Aktivität oder ein Ereignis ausgelöst werden können.

Statistische Unsicherheit bezeichnet den quantifizierbaren Grad der Unsicherheit in der Bestimmung der Risikokategorien \rightarrow Eintrittswahrscheinlichkeit und \rightarrow Schadenspotential. Sie wird mit Methoden der klassischen Statistik bestimmt, etwa durch Angabe eines Konfidenzintervalls. Es werden aber auch subjektive Schätzwerte verwendet. Der Zufall drückt sich in 2 Dimensionen aus: zum einen in den Wahrscheinlichkeiten für ein bestimmtes Ereignis (Unsicherheit 1. Ordnung),

zum anderen in der Streuung der Schadensereignisse bei gegebenen Wahrscheinlichkeiten (Unsicherheit 2, Ordnung).

Syndrome des Globalen Wandels bezeichnen funktionale Muster von krisenhaften Beziehungen zwischen Mensch und Umwelt. Es sind charakteristische, global relevante Konstellationen von natürlichen und anthropogenen Trends des Globalen Wandels sowie der Wechselwirkungen zwischen ihnen. Jedes Syndrom ist, in Analogie zur Medizin, ein „globales Krankheitsbild“; es stellt einen anthropogenen Ursache-Wirkungs-Komplex mit spezifischen Umweltbelastungen dar und bildet somit ein eigenständiges Muster der Umweltdegradation. Syndrome greifen über einzelne Sektoren wie Wirtschaft, Biosphäre oder Bevölkerung hinaus, aber auch über einzelne Umweltmedien wie Boden, Wasser, Luft (transsektoral). Immer haben Syndrome jedoch einen direkten oder indirekten Bezug zu Naturressourcen. Ein Syndrom läßt sich in der Regel in mehreren Regionen der Welt unterschiedlich stark ausgeprägt identifizieren. Auch können in einer Region mehrere Syndrome gleichzeitig auftreten.

Symptome des Globalen Wandels (auch globale Trends) sind Phänomene in Gesellschaft und Natur, die für den Globalen Wandel bedeutsam sind und ihn charakterisieren. Es handelt sich dabei um veränderliche oder prozeßhafte Größen, die qualitativ bestimmbar sind, wie etwa die Symptome „Bevölkerungswachstum“, „verstärkter Treibhauseffekt“, „wachsendes Umweltbewußtsein“ oder „medizinischer Fortschritt“.

Ubiquität bezeichnet eines der vom Beirat verwendeten Beurteilungskriterien für die Bewertung von Risiken. Ubiquität meint die räumliche Verbreitung des ➔Schadens oder des ➔Schadenspotentials. Sie ist damit ein wichtiges Kriterium bei der Bestimmung der intragenerationellen Gerechtigkeit.

Umweltklage. Bei der Umweltklage kann der Rechtsweg eröffnet werden, ohne daß der Kläger darlegen muß, in eigenen Rechten oder Interessen beeinträchtigt worden zu sein. Normalerweise muß eine Verletzung eigener Rechte oder Interessen vorliegen, um gerichtlichen Rechtsschutz beanspruchen zu können. In Deutschland ist dies teilweise über die Verbandsklage möglich. In den USA ist die Umweltklage als „Citizen Suit“ eingeführt. Auch in anderen Ländern gibt es Ansätze, daß Umweltinteressen als Allgemeininteressen

durch Private vor Gericht wahrgenommen werden können.

Unbestimmtheit kennzeichnet in der Terminologie des Beirats denjenigen Zustand der ➔Ungewißheit, bei der das Schadensausmaß zwar weitgehend bekannt ist, man aber keine verlässlichen Aussagen über die ➔Eintrittswahrscheinlichkeit machen kann.

Ungewißheit kennzeichnet die grundsätzliche Unfähigkeit einer Risikoabschätzung zur deterministischen Prognose von Schadensereignissen. Der Beirat unterscheidet dabei zwischen ➔Ahnungslosigkeit, ➔Unbestimmtheit und statistischer Unsicherheit. Ungewißheit ist der Überbegriff für Ahnungslosigkeit und Unbestimmtheit. Ungewißheit ist eine grundsätzliche Eigenschaft des Risikos, während die ➔Abschätzungssicherheit zwischen extrem hoch und extrem niedrig variieren kann. In der Literatur wird dieser nicht auflösbare Unsicherheitsraum auch häufig mit dem Terminus Unsicherheit belegt.

Verbotsbereich bezeichnet in der Terminologie des Beirats eine Kategorie des Risikos im kritischen Bereich, wo die Risiken so gravierend sind, daß in der Regel ein Verbot ausgesprochen werden sollte, es sei denn, es liegt ein gesellschaftlicher Konsens vor, diese Risiken wegen der damit verbundenen Chancen eingehen zu wollen.

Verzögerungswirkung bezeichnet eines der vom Beirat verwendeten Beurteilungskriterien für die Bewertung von Risiken. Sie beschreibt die Möglichkeit, daß zwischen dem auslösenden Ereignis und der Schadensfolge eine lange Latenzzeit herrscht. Diese kann physikalischer, chemischer oder biologischer Natur sein oder sich als Folge einer langen Variablenkette ergeben.

Zyklop bezeichnet als Typ die Risiken des Globalen Wandels, bei denen die ➔Eintrittswahrscheinlichkeit ungewiß ist, während der maximale ➔Schaden weitgehend bekannt ist.

**Der Wissenschaftliche Beirat der
Bundesregierung Globale
Umweltveränderungen**

K

Der Wissenschaftliche Beirat
 Prof. Dr. Hans-Joachim Schellnhuber, Potsdam
 (Vorsitzender)
 Prof. Dr. Dr. Juliane Kokott, Düsseldorf
 (Stellvertretende Vorsitzende)
 Prof. Dr. Friedrich O. Beese, Göttingen
 Prof. Dr. Klaus Fraedrich, Hamburg
 Prof. Dr. Paul Klemmer, Essen
 Prof. Dr. Lenelis Kruse-Graumann, Hagen
 Prof. Dr. Christine Neumann, Göttingen
 Prof. Dr. Ortwin Renn, Stuttgart
 Prof. Dr. Ernst-Detlef Schulze, Jena
 Prof. Dr. Max Tilzer, Konstanz
 Prof. Dr. Paul Velsinger, Dortmund
 Prof. Dr. Horst Zimmermann, Marburg

Assistentinnen und Assistenten der
 Beiratsmitglieder

Dr. Arthur Block, Potsdam
 Dipl.-Geogr. Gerald Busch, Göttingen
 ÄiP Susanne Fischer, Göttingen
 Andreas Klinke, M.A., Stuttgart
 Dipl.-Psych. Dörthe Krömker, Hagen
 Dr. Gerhard Lammel, Hamburg
 Referendar-jur. Leo-Felix Lee, Heidelberg
 Dipl.-Ing. Roger Lienenkamp, Dortmund
 Dr. Heike Mumm, Konstanz
 Dipl.-Biol. Martina Mund, Jena
 Dipl.-Volksw. Thilo Pahl, Marburg
 Dipl.-Ök. Roland Waniek, Bochum

Geschäftsstelle des Wissenschaftlichen
 Beirats, Bremerhaven*

Prof. Dr. Meinhard Schulz-Baldes
 (Geschäftsführer)
 Dr. Carsten Loose
 (Stellvertretender Geschäftsführer)
 Dr. Frank Biermann, LL.M.
 Dipl.-Phys. Ursula Fuentes Hutfilter
 Vesna Karic-Fazlic
 Ursula Liebert
 Dr. Benno Pilardeaux
 Martina Schneider-Kremer, M.A.

* Geschäftsstelle WBGU
 Alfred-Wegener-Institut für Polar- und
 Meeresforschung
 Postfach 12 01 61
 D-27515 Bremerhaven

Tel. 0471-4831-723
 Fax: 0471-4831-218
 Email: wbg@awi-bremerhaven.de
 Internet: <http://www.WBGU.de/>

**Gemeinsamer Erlaß zur Errichtung des
 Wissenschaftlichen Beirats Globale
 Umweltveränderungen (8. April 1992)**

§ 1

Zur periodischen Begutachtung der globalen Umweltveränderungen und ihrer Folgen und zur Erleichterung der Urteilsbildung bei allen umweltpolitisch verantwortlichen Instanzen sowie in der Öffentlichkeit wird ein wissenschaftlicher Beirat „Globale Umweltveränderungen“ bei der Bundesregierung gebildet.

§ 2

(1) Der Beirat legt der Bundesregierung jährlich zum 1. Juni ein Gutachten vor, in dem zur Lage der globalen Umweltveränderungen und ihrer Folgen eine aktualisierte Situationsbeschreibung gegeben, Art und Umfang möglicher Veränderungen dargestellt und eine Analyse der neuesten Forschungsergebnisse vorgenommen werden. Darüberhinaus sollen Hinweise zur Vermeidung von Fehlentwicklungen und deren Beseitigung gegeben werden. Das Gutachten wird vom Beirat veröffentlicht.

(2) Der Beirat gibt während der Abfassung seiner Gutachten der Bundesregierung Gelegenheit, zu wesentlichen sich aus diesem Auftrag ergebenden Fragen Stellung zu nehmen.

(3) Die Bundesregierung kann den Beirat mit der Erstattung von Sondergutachten und Stellungnahmen beauftragen.

§ 3

(1) Der Beirat besteht aus bis zu zwölf Mitgliedern, die über besondere Kenntnisse und Erfahrung im Hinblick auf die Aufgaben des Beirats verfügen müssen.

(2) Die Mitglieder des Beirats werden gemeinsam von den federführenden Bundesminister für Forschung und Technologie und Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Einvernehmen mit den beteiligten Ressorts für die Dauer von vier Jahren berufen. Wiederberufung ist möglich.

(3) Die Mitglieder können jederzeit schriftlich ihr Ausscheiden aus dem Beirat erklären.

(4) Scheidet ein Mitglied vorzeitig aus, so wird ein neues Mitglied für die Dauer der Amtszeit des ausgeschiedenen Mitglieds berufen.

§ 4

(1) Der Beirat ist nur an den durch diesen Erlaß begründeten Auftrag gebunden und in seiner Tätigkeit unabhängig.

(2) Die Mitglieder des Beirats dürfen weder der Regierung noch einer gesetzgebenden Körperschaft des Bundes oder eines Landes noch dem öffentlichen Dienst des Bundes, eines Landes oder einer sonstigen juristischen Person des Öffentlichen Rechts, es sei denn als Hochschullehrer oder als Mitarbeiter eines wissenschaftlichen Instituts, angehören. Sie dürfen ferner nicht Repräsentant eines Wirtschaftsverbandes oder einer Organisation der Arbeitgeber oder Arbeitnehmer sein, oder zu diesen in einem ständigen Dienst- oder Geschäftsbesorgungsverhältnis stehen. Sie dürfen auch nicht während des letzten Jahres vor der Berufung zum Mitglied des Beirats eine derartige Stellung innegehabt haben.

§ 5

(1) Der Beirat wählt in geheimer Wahl aus seiner Mitte einen Vorsitzenden und einen stellvertretenden Vorsitzenden für die Dauer von vier Jahren. Wiederwahl ist möglich.

(2) Der Beirat gibt sich eine Geschäftsordnung. Sie bedarf der Genehmigung der beiden federführenden Bundesministerien.

(3) Vertritt eine Minderheit bei der Abfassung der Gutachten zu einzelnen Fragen eine abweichende Auffassung, so hat sie die Möglichkeit, diese in den Gutachten zum Ausdruck zu bringen.

§ 6

Der Beirat wird bei der Durchführung seiner Arbeit von einer Geschäftsstelle unterstützt, die zunächst bei dem Alfred-Wegener-Institut (AWI) in Bremerhaven angesiedelt wird.

§ 7

Die Mitglieder des Beirats und die Angehörigen der Geschäftsstelle sind zur Verschwiegenheit über die Beratung und die vom Beirat als vertraulich bezeichneten Beratungsunterlagen verpflichtet. Die Pflicht zur Verschwiegenheit bezieht sich auch auf Informationen, die dem Beirat gegeben und als vertraulich bezeichnet werden.

§ 8

(1) Die Mitglieder des Beirats erhalten eine pauschale Entschädigung sowie Ersatz ihrer Reisekosten. Die Höhe der Entschädigung wird von den beiden federführenden Bundesministerien im Einvernehmen mit dem Bundesminister der Finanzen festgesetzt.

(2) Die Kosten des Beirats und seiner Geschäftsstelle tragen die beiden federführenden Bundesministerien anteilig je zur Hälfte.

Dr. Heinz Riesenhuber
Bundesminister für Forschung und Technologie

Prof. Dr. Klaus Töpfer
Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Anlage zum Mandat des Beirats

Erläuterung zur Aufgabenstellung des Beirats gemäß § 2 Abs. 1

Zu den Aufgaben des Beirats gehören:

1. Zusammenfassende, kontinuierliche Berichterstattung von aktuellen und akuten Problemen im Bereich der globalen Umweltveränderungen und ihrer Folgen, z.B. auf den Gebieten Klimaveränderungen, Ozonabbau, Tropenwälder und sensible terrestrische Ökosysteme, aquatische Ökosysteme und Kryosphäre, Artenvielfalt, sozioökonomische Folgen globaler Umweltveränderungen. In die Betrachtung sind die natürlichen und die anthropogenen Ursachen (Industrialisierung, Landwirtschaft, Übervölkerung, Verstädterung etc.) einzubeziehen, wobei insbesondere die Rückkopplungseffekte zu berücksichtigen sind (zur Vermeidung von unerwünschten Reaktionen auf durchgeführte Maßnahmen).
2. Beobachtung und Bewertung der nationalen und internationalen Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der globalen Umweltveränderungen (insbesondere Meßprogramme, Datennutzung und -management etc.).
3. Aufzeigen von Forschungsdefiziten und Koordinierungsbedarf.
4. Hinweise zur Vermeidung von Fehlentwicklungen und deren Beseitigung.

Bei der Berichterstattung des Beirats sind auch ethische Aspekte der globalen Umweltveränderungen zu berücksichtigen.

Index

L

A

Afrika 87-88, 90, 137, 174, 188-189, 192, 194, 206-207, 217, 221
 Akademie für Technikfolgenabschätzung 45, 82
 Akteure 52, 173, 182, 215, 220, 273
 ALARA-Prinzip (As Low As Reasonably Achievable) 233-234, 330
 Algenblüten 103
 – Red tides 103
 Allergien 80, 203
 – Kennzeichnung von Lebensmitteln 80, 131
 Ammoniak 119, 124, 139
 Armut 185, 188-189, 191, 196, 201, 204
 – Armutsbekämpfung 185, 190, 261, 337
 – Armutsgruppen 174
 – Einkommensarmut 189
 Arten 51, 80, 98
 – Artenvielfalt; *s. auch* Biodiversität 99, 110, 127
 – Artenzusammensetzung 79, 100, 135
 – Intermediate Disturbance Hypothesis 99
 – Massenentwicklungen 98, 101-102, 116
 – Schlüsselart (Keystone Species) 100
 Asien 106, 128, 174, 185, 189, 194, 207, 217
 – Asienkrise 190
 Asteroide; *s. auch* Kometen *und* Meteorite 152, 157, 324
 Atmosphäre-Ozean-Zirkulationsmodell (ECHAM4/OPYC) 120
 Atomgesetz 233

B

Bangladesch 151, 223
 Basler Übereinkommen über die Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung gefährlicher Abfälle und ihrer Entsorgung 267
 Bedürfnisse 166-167, 261
 Betroffene; *s. auch* Verursacher 83, 172-173, 189, 192, 197, 270-271, 275, 280, 332
 Bevölkerungswachstum 135, 193, 195, 207
 Bildung 51, 189-190, 236, 261-262, 271, 328
 Biodiversität 100, 266, 323
 – Verlust von Biodiversität 51, 98, 104, 119
 Biodiversitätskonvention; *s. Übereinkommen über die biologische Vielfalt (CBD)*
 Biosafety-Protokoll 109, 266
 Biozide 110, 129
 Böden 51, 123-124, 127, 137, 139, 150, 172, 193
 – Degradation 51, 190, 205-206
 – Desertifikation 174, 206, 220
 – FAO-Bodenkarte 124-125
 – Nitrifikation 124
 – Pufferkapazität 123-126
 – Säuredeposition 124
 – Säureneutralisationskapazität (SNK) 124
 – Versauerung 120, 123-124
 Bodenkonvention 206
 Brüsseler EWG-Übereinkommen über die gerichtliche

Zuständigkeit und die Vollstreckung gerichtlicher Entscheidungen in Zivil- und Handelssachen (EuG-VÜ) 246

Brüsseler Zusatzübereinkommen über die Haftung Dritter auf dem Gebiet der Kernenergie (BZÜ) 244
 Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) 189, 261, 337

C

Charta der Vereinten Nationen; *s. auch* Vereinte Nationen (UN) 265
 Chemieindustrie 172, 188
 – Chemieunfälle 132, 270
 – Großchemische Werke 72
 Centers for Disease Control and Prevention (CDC) 91, 96
 Convention on Biological Diversity (CBD); *s. Übereinkommen über die biologische Vielfalt*

D

Desertifikationskonvention; *s. Übereinkommen der Vereinten Nationen zur Bekämpfung der Wüstenbildung in den von Dürre und/oder Wüstenbildung schwer betroffenen Ländern, insbesondere in Afrika*
 Deutschland 71, 94-95, 133, 150, 204, 233, 239, 253, 258, 281
 Diskursive Verfahren; *s. auch* Risikokommunikation 49, 144, 170, 275, 278-280
 Distickstoffoxid (N₂O) 120, 126, 142
 DIVERSITAS International Programme of Biodiversity Science 108
 Dosis-Wirkungs-Beziehungen 84, 118
 Dürren; *s. Naturkatastrophen*

E

EG-Kommission 245
 Eigentumsrechte 185, 292
 Einstellungen 174, 178, 277, 282
 El-Niño/Southern-Oscillation (ENSO) 136, 140, 207
 – La Niña 136
 Elektromagnetische Felder 82, 84
 Emissionen 119-120, 122, 138, 142, 221, 233, 250, 255
 – Emissionsvermeidung 258
 – Emissionszertifikate; *s. auch* Ökonomische Instrumente 142, 259
 Endokrine 129, 133, 322
 – Hormone 132
 – Östrogene 132
 Entwicklungsdisparitäten 51, 191, 201
 – Nord-Süd-Gefälle 188, 190, 262, 337
 Entwicklungsländer 51, 81, 90, 113, 137, 142, 189-192, 195, 207, 262, 266, 337
 Entwicklungsprogramm der Vereinten Nationen (UNDP) 189, 190
 Environmental bonds 294
 Erdbeben; *s. Naturkatastrophen*
 Erdsystem 48, 315
 Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der

- Vereinten Nationen (FAO) 108, 204, 263, 267
 Europa 74, 87, 102, 106, 110, 128, 130, 144
 – Europäische Union (EU) 94-95, 113, 142, 201, 245-246
 – Europäischer Gerichtshof 248
 – Europäisches Parlament 112
 – Europarat 245, 247
 Experten 43, 53-54, 63, 83, 141, 177, 179, 263, 270, 276, 279-280
 – Beiräte 276
 – Enquete-Kommissionen 276
 Extremereignisse; *s. auch* Naturkatastrophen 149, 157, 219
- F**
 Feuchtgebiete 225-226, 228
 Fischfang 51, 101
 Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) 37, 262, 285, 287, 306, 309
 Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO); *s. Ernährung- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen*
 Frankreich 94
 Frauen 87, 174, 189, 208
 Futtermittel 95, 124
- G**
 Gebirgszonen 137, 193
 Gefahr 38, 178, 185, 189, 215, 218, 281, 314, 334
 – Gefährdungspotential 37, 111, 285, 296
 Genehmigung 252-254, 332
 – Genehmigungsrecht 247-248, 253, 268
 – IVU-Richtlinie 253-254
 – Planfeststellung 252
 – Zulassungen 252
 Generalsekretariat der Vereinten Nationen; *s. auch* Vereinte Nationen 263
 Genfer Luftreinhalteabkommen 128
 Gentechnik 50, 77, 80, 82, 108, 110, 285, 288, 294, 298
 – „grüne“ Gentechnik 78, 81, 108-109, 113, 116
 – „rote“ Gentechnik 78
 – DNA-Sequenzen 78
 – Enhancersequenzen 109
 – Gentechnik-Verfahrensordnung (GenTVf) 112
 – Gentechnikgesetz (GenTG) 112
 – Hybridisierung 78, 105, 110, 114
 – Klonierung 109, 285
 – Mutagene 109, 111
 – Promotoren 109, 111, 115
 – Transgene Pflanzen 79, 115, 323
 – Gentransfer 78, 110-111
 – Genzentren 110, 114
 – Konkurrenzvorteil 111, 114, 116
 – Markergene 110, 113
 – Präadaptation 111
 – Wildpopulationen 110, 115
 Gesundheit 51, 106, 167, 173, 196, 200, 266
 Global governance 267, 338
 Global Risk Report 263
 Globalisierung 185, 212, 285
 Großbritannien 93-95
 Grüne Revolution 194, 204, 207
- H**
 Haager Konferenz für Internationales Privatrecht 246, 248, 325
 Haftungsrecht 185, 236, 238, 260, 275, 289, 292-293, 299, 316, 326
 – Atomhaftungsrecht 244
 – Beweismaß 239, 240
 – Class action 240
 – Gefährdungshaftung 238, 241, 244, 292, 294, 333
 – Haftungsanspruch 238, 243
 – Haftungsfonds 241, 244, 247, 249
 – Haftungssoasen 243
 – Kollisionsrecht 244, 246-248
 – Market share liability 240
 – Nuklearhaftung 244, 246
 – Pollution share liability 240
 – Prävention 238-239, 241, 243
 – Proportionalhaftung 240
 – Schadensersatz 239-240, 242, 249-250
 – Selbstverpflichtung 269, 280, 331
 – Umwelthaftungsrecht 244, 246
 – Verdachtshaftung 239-240, 243
 – Verschuldenshaftung 241-242
 – Verursachungsvermutung 239-240
 – Wahrscheinlichkeitshaftung 239-240
 Hochwasser 149-150, 154-156
 – Abflußregime 150
 – Hochwasserschutz 150, 158
 – Oderhochwasser 158
 – Wasserrückhaltekapazität 149-150
 Hongkong 92, 103
 Human Development Index (HDI) 189
 Hungerkrisen; *s. auch* Welternährung 174, 194, 196, 198, 200, 204, 207, 260
- I**
 Indien 76, 88, 90, 174, 193, 227
 Indikatoren 45, 48, 56, 119, 198, 232, 280
 Indonesien 165, 171, 189, 256
 – Indonesienkrise 264
 – Kalimantan 256
 Industrieländer 120, 142, 157, 190, 192, 205, 262
 Industrieunfälle 238
 – Bhopal 72, 188, 238
 – Sandoz 73, 238, 247
 Infektionskrankheiten 51, 85-86, 195, 201
 – AIDS 85-91, 96, 201
 – BSE 49, 86, 93-94
 – Co-Infektionen 90
 – Creutzfeldt-Jakob-Krankheit 85, 95
 – Epidemiologie 90, 94, 202, 322

- Gonorrhoe 86
- HIV; s. AIDS
- Immunsystem 87, 90, 202, 217
- Influenza A 85, 91-92, 96
- Latenzzeit 87-88, 96
- Malaria 86, 201-202
- Mutagenität 90, 96
- Pandemie 87, 92, 201
- Pathologie 94
- Prävention 90, 322
- Retroviren 87, 90
- Syphilis 86
- Therapie 77, 82, 90, 202
- Tuberkulose 86, 90, 202
- Vektor 85, 105, 201-202
- Infrastruktur 51, 188, 193, 195-196
- Innovationen 64, 255, 258-259, 285, 287-288, 300, 310, 316
 - Innovationsprozeß 262, 337
 - Innovationsrisiken 287, 293, 326
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC); s. Zwischenstaatlicher Ausschuß für Klimaänderungen
- International Atomic Energy Organization (IAEO); s. Internationale Atomenergie-Organisation
- International Civil Aircraft Organisation (ICAO); s. Internationale Organisation für zivilen Luftverkehr
- International Convention on Liability and Compensation for Damage in Connection with the Carriage of Hazardous and Noxious Substances by Sea (HNS-Konvention) 244
- International Convention for the Prevention of Pollution from Ships; s. MARPOL-Abkommen
- International Decade for Natural Disaster Reduction (IDNDR); s. Internationale Dekade für Katastrophenvorbeugung
- International Maritime Organisation (IMO) 244, 268
- International Organization for Standardization (ISO) 268
- Internationale Atomenergie-Organisation 167, 245, 268-269
- Internationale Dekade für Katastrophenvorbeugung (IDNDR) 156, 157, 329
- Internationale Organisation für zivilen Luftverkehr (ICAO) 268
- „Internationaler“ TÜV 327, 335
- Internationaler Währungsfonds (IWF) 257, 264
- Internationalisierung 185, 212
- Ionisierende Strahlung 233
- Irak 76, 217, 268, 269
- Italien 94, 239

- J**
- Japan 103, 142, 256
- Joint United Nations Programme on AIDS (UNAIDS) 91

- K**
- Kernenergie 70, 166, 176, 216, 268
 - Castor-Behälter 71
 - Endlager 71, 217, 253
 - GAU (Größter anzunehmender Unfall) 38
 - Kernkraftwerke 38, 70, 72-73, 167, 180
 - Nuklearhaftungskonvention 269
 - Nuklearunfälle 244
 - Radionuklide 70
 - Reaktoren 70, 72, 76, 217, 245
- Kernprobleme des Globalen Wandels 50, 51, 85, 208
- Klima 59, 134, 136, 177, 200
 - Eiszeit 139
 - Klimafenster 145-146
 - Klimamodelle 137, 139, 143
 - Klimarisiko 132, 221, 263
 - Klimaschutzstrategien 144
 - Klimavariabilität 51, 134, 137, 147
 - Klimawandel 51, 134, 136, 140-141, 143, 146, 150, 192, 206, 219, 220
 - Ozonabbau 147, 306
 - Treibhauseffekt 138-139, 141, 146
 - Wärmehaushalt 134
- Klimarahmenkonvention; s. Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (FCCC)
- Kohlenmonoxid (CO) 120
- Kometen; s. *auch* Asteroide *und* Meteorite 152, 157
 - Tunguska-Ereignis 152
- Konflikte 51, 142, 193-194, 197, 227, 304
- Konstanz 99
- Konzerne; s. *auch* Unternehmen 185, 215, 275
- Krebserkrankungen 37, 64, 83, 202
 - Krebsrisiko 70, 273, 274
 - Malignes Melanom 203
- Kultur 168, 171, 174, 177, 289
- Küstenzonen 137, 195, 209, 276
- Kyoto-Protokoll; s. *auch* Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (FCCC) 141-142

- L**
- Landnutzung 142, 225
- Landwirtschaft 78-79, 102, 107, 114, 120, 135-136, 193, 205-207, 221, 223-225, 228
 - Agrarsysteme 205, 208
 - Cash crops 224
 - Hochleistungssorten 81, 113, 323
 - Intensivierung 101, 114, 221
 - Monokulturen 102, 205, 219
 - Nahrungsmittelproduktion 113, 136, 204, 323
 - Pflanzenzüchtung 79-80, 109, 111, 113
 - Wasserbedarf 205
- Lateinamerika 124, 150, 190, 194, 206-207, 217
- Leitfläche 57-58
- Leitplanken 56, 58, 143-144
- Love-Canal-Fall 170, 172-173
- Luganer Konvention des Europarates (LugÜ) 245-248

M

Malaysia 106, 256
 MARPOL-Abkommen 107
 Mediationsverfahren; *s.* Diskursive Verfahren
 Medien 127, 170, 174, 212, 277
 Medizin 37, 77, 82, 95
 Meeresspiegelanstieg 51, 137, 146, 195
 Meteoriten; *s. auch* Asteroide *und* Kometen 149, 152-154, 324
 Mexiko-City 72
 Monetarisierung 225, 232, 294
 Montrealer Protokoll 203, 262
 Myanmar 223
 Myxomatose 107

N

Naturkatastrophen 43, 51, 149, 151-153, 155, 157, 324
 – Dürren 136, 149, 194, 219
 – Erdbeben 49, 151, 154, 156, 324
 – Tsunamis 151-152, 154, 157
 – Überflutungen 73, 156
 – Vulkanausbrüche 151, 154, 171, 324
 Nettoprimärproduktion 100, 122
 Nichtheimische Arten; *s. auch* Arten 103, 105, 107
 – Goldene Apfelschnecke 106
 – Invasion nichtheimischer Arten 98, 104-105, 116
 – Kaninchen in Australien 107
 Nichtregierungsorganisationen (NRO) 73, 131, 198, 275
 Nigeria 91, 221, 275
 Nordatlantik 139, 146
 Nordic Environmental Protection Convention 246
 Nutzen 40, 47, 72, 107, 186, 224, 231, 234, 271, 303
 – Erwartungsnutzen 44, 49
 – Gesamtnutzen 233
 – Nutzengewinn 56, 234

O

Öffentlichkeit 83, 85, 175, 213, 272, 275-277, 279, 332
 Öko-Audit; *s. auch* Umweltpolitische Instrumente 295, 297
 Ökonomie 47, 186, 197, 212, 267, 289
 Ökonomische Instrumente
 – Diskontsatz 232
 – Fondslösungen 55, 236, 239, 249-250
 – Kosteneffizienzverfahren 235-236
 – Risikoprämien 255, 257-259
 – Steuern 236, 292
 – Subventionen 236, 255, 257
 – Umweltabgaben 255, 258-259
 – Zertifikate 236, 255, 259
 – Zölle 257
 Ökosysteme 78, 99-100, 103-105, 110-112, 122, 128
 – Agrarökosysteme 135, 137, 146
 – Aquatische Ökosysteme 105, 107, 130
 – Destabilisierung von Ökosystemen 122, 126-128, 159
 – Fließgleichgewicht 211
 – Nahrungsnetze 99, 211

– Ökosystemfunktionen 99, 101, 225-226
 – Säureeinträge 120, 124, 126, 128
 Ölverschmutzung 40, 244
 – „Exxon Valdez“ 238, 301
 – „Torrey Canyon“ 247
 Ordnungsrecht 255, 258
 Organisation der Vereinten Nationen für nachhaltige Entwicklung 264
 Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD); *s.* Organisation für Sicherheit und Zusammenarbeit in Europa
 Organisation für Sicherheit und Zusammenarbeit in Europa (OECD) 113, 129, 244, 285, 337
 Österreich 239
 Ozeane 51, 101, 146, 214
 – Thermohaline Zirkulation 139
 Ozonschicht 147, 153, 175, 200, 306

P

Pakistan 76, 227
 Partizipation 196, 261, 332, 338
 Persistente organische Schadstoffe (POP) 62, 129, 221
 – „schmutziges Dutzend“ 131
 Pestizide 105, 129, 130-131, 173, 202, 221, 267
 – Dichlordiphenyltrichloräthan (DDT) 105, 129, 133, 202
 – Polychlorierte Biphenyle (PCB) 129, 130, 131
 Philosophie 47, 56, 232
 Photosynthesekapazität 122, 126, 153
 PIC-Grundsatz (Prior Informed Consent) 131, 265, 267

R

Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (FCCC) 141-142, 266, 338
 Rattan 256-257
 Regenerative Energiequellen 72, 217
 Regulative Instanzen 276
 – Behörden 167, 172-173, 196
 – Bürgerentscheide 276
 – Institutionen 91, 173-174, 186, 196, 262, 276, 291, 330
 – Organisationen 167, 173, 180-182, 184, 268
 – Umweltgenossenschaften 239, 250
 – Umwelt- und Entwicklungsverbände 262, 336
 Reproduktionsstörungen 133
 – Vermännlichung 133
 Resilienz 99, 309, 313
 Resistenz 78-79, 86, 114-116
 – Antibiotikaresistenz 79, 110, 113, 201
 – Erregerresistenz 201, 322
 – Herbizidresistenz 114
 – Insektenresistenz 114
 – Resistenzmanagement 115
 – Resistenzmarker 80, 113
 – Virusresistenz 79, 115
 Ressourcenallokation 235
 Rhein 73, 150, 155-156
 Risiken

- Akkumulationsrisiken 255, 287, 308
 - Gewöhnung an Risiken 55, 179
 - Irreversibilität von Risiken 55, 60, 62, 75, 159
 - Kontrollierbarkeit von Risiken 55, 169, 172, 178
 - Naturrisiken 49, 169, 188, 214
 - Phantomrisiken 64
 - Synergismusrisiken 287
 - Übernahme von Risiken 169, 177, 292
 - Unbekannte Risiken 285-292, 296, 315, 317, 333
 - Verstärkung von Risiken 166, 180, 183, 193, 218
 - Risikoabschätzung 36, 59-60, 168-169, 178
 - Abschätzungssicherheit 37, 53-54, 60, 75, 159, 231, 272, 331
 - Ahnungslosigkeit; *s. auch* Ungewißheit 37-38, 60, 75
 - Eintrittswahrscheinlichkeit 37-38, 45, 53-54, 58-60, 75, 96, 116, 144, 150, 159, 179, 188, 219, 220, 308-309
 - Kognitive Faktoren 179
 - Objektives Risiko 38
 - Unbestimmtheit; *s. auch* Ungewißheit 54-55, 60, 75
 - Ungewißheit 37-38, 43, 60, 75, 81, 159, 231, 233, 281, 298, 306
 - Unsicherheit 36-38, 55, 73, 144, 174, 231, 271, 281, 291, 314, 322
 - Unverwundbarkeits-Illusion 303
 - Zufall 38, 55, 310
 - Risikoabschwächung 166, 180-181, 260, 309, 324
 - Risikoakzeptanz 36, 45
 - Risikoanalyse 36, 39, 78, 108, 112, 143, 156, 163, 215-216
 - Bayesianischer Ansatz 54, 233
 - Modellierung 39, 213, 298
 - Sensitivitätsanalysen 141, 144
 - Stochastische Modelle 143
 - Szenariobildung 39
 - Risikoanfälligkeit 174, 181, 193-194, 197-198, 324
 - Risikobereiche 45, 199, 234, 276, 322
 - Grenzbereich 43-45, 57, 65, 146, 159, 235, 335
 - Normalbereich 43-45, 54, 65, 231, 235
 - Verbotsbereich 43-45, 159
 - Risikobewältigung 165, 167, 174, 180, 195, 198, 260, 262, 268, 271, 281, 337
 - Risikobewertung 40, 42, 45, 56, 94, 167, 231, 234
 - Akzeptabilität 40, 42, 231, 282
 - Globalfilter 50, 70, 287
 - Umweltfilter 50, 52
 - Zumutbarkeit 40, 46, 231, 234
 - Risikodarstellung 273
 - Risiko-Risiko-Vergleich 235, 273
 - Risikofallen 291, 301, 304, 317
 - Soziales Dilemma 303
 - Risikokette 165, 167
 - Risikoklasse 35, 58, 60, 75, 285, 296
 - Risikokommunikation; *s. auch* Diskursive Verfahren 270-273, 277, 291, 299, 315
 - Glaubwürdigkeit 83, 271, 272
 - Mediatoren 272, 275, 280
 - Nachrichtenquadrat 271
 - Transparenz 233, 253, 276, 310
 - Risikomanagement 42, 45-46, 102, 106, 142-143, 149, 157, 167, 290, 306, 311, 313
 - Agensmanagement 311
 - Entscheidungsanalyse 43, 143, 232-233
 - Entscheidungslogik 43, 232
 - Instrumente 44, 55, 65, 231, 236, 255, 281, 292, 295, 315
 - Kausale Ignoranz 307
 - Kausale Perzeption 310
 - Kognitive Barriere 308, 312, 314
 - Kosten-Nutzenanalyse 143, 156, 232
 - Reagensmanagement 312
 - Strategien 42, 115, 198, 213, 234, 272-273, 312-313, 315, 317, 325, 327, 329-332
 - Toleranzfenster 135, 142-143
 - Risikomerkmale 41
 - Mobilisierungspotential 55, 60, 63, 73, 75, 82
 - Persistenz 55-56, 60, 62, 75, 159, 233, 306, 315, 331
 - Ubiquität 55-56, 60, 62, 73, 75, 159, 233, 306, 315, 331
 - Verzögerungswirkung 55, 60, 75
 - Risikopolitik 42, 64, 229, 255, 282, 299, 325
 - Risikopotentiale 60, 70, 75, 108, 113, 116, 149, 159, 180-181, 209, 211, 325
 - Risikoreduktion 156, 198, 235-236, 327, 333
 - Risikoregulation 281
 - Risikosteuerung 45, 236
 - Grenzwerte 54, 83, 143, 236, 309
 - Technische Anleitungen 236
 - Verbote 236, 252, 335
 - Risikotransfer 288
 - Risikotypen 50, 58, 65, 96, 116, 132, 146, 234, 327
 - Damokles 71, 76, 154, 159, 218, 321, 327
 - Cassandra 62, 96, 159, 331
 - Medusa 63, 83, 332
 - Pandora 61, 132, 133, 233, 285, 331
 - Pythia 78, 81, 96, 116, 159, 285, 306, 330
 - Zyklon 59, 76, 96, 116, 146, 329
 - Risikovergleiche 231, 273, 274
 - Risikovermeidung 44, 55, 308, 315
 - Risikoverstärker 88, 90, 166-167, 180, 192, 216, 260, 324
 - Risikoverträglichkeitsprüfung (RiVP) 275
 - Risikovorsorge 190, 196, 206, 236, 260, 261
 - Diversität 198, 313
 - Selbsthilfe 190, 261, 337
 - Risikowahrnehmung; *s. auch* Risikobewertung 39-41, 55, 63, 82, 96, 128, 168, 170-171, 177, 203
 - Psychosomatische Reaktionen 40, 64, 83
 - Risikowissen 186, 260-261, 286, 290-291, 298-299, 316
 - Risk Assessment Panel (UN) 262-264, 315, 329
 - Rußland 76, 142
- ## S
- Schäden 36, 47, 52, 178, 215, 231, 238, 241-242, 273
 - Ausgleichsschaden 48, 224
 - Betroffenheit von Schäden; *s. auch* Betroffene 63, 178
 - Effektiv- oder Realschaden 48

- Entwicklungsschäden 241
- Eventualschaden 48, 224
- Kompensationsfähigkeit 49, 62, 201
- Massenschäden 241
- Ökologische Schäden 107, 150, 238
- Schadensausmaß 36-37, 39, 45, 53-55, 5760, 75, 79, 96, 151, 153, 188, 308-309, 324
- Schadensereignis 58, 60, 61
- Schadenshöhe 60, 75
- Schadensindex 49
- Schadenskategorien 35, 47-49, 309
- Schadenspotential 44, 48, 55, 58, 70, 76, 86-87, 93, 99, 135, 150, 152, 220, 223-224, 322, 327
- Umweltschäden 52, 221, 239, 294
- Verteilung von Schäden 49
- Schädlinge 102, 110, 114, 205
 - Schädlingsbekämpfung 104, 107-108, 129
- Schmuggel 256-257
- Schutzgut 37, 313
- Schweiz 45, 56, 94, 304
- Seetransport 244
- Selektion 79, 109
 - K-Selektion 99
 - r-Selektion 99-100
 - Selektionsdruck 90, 111, 114, 116
 - Selektionsmarker 79-80, 110, 113
 - Selektionsvorteile 111
- Senken 51, 142, 201
- Seuchen; *s. auch* Infektionskrankheiten 51, 85-86, 95, 217-218, 322
- Sicherheitsrat der Vereinten Nationen 264-265, 269
- Skandinavien 246
- Soziale Disparitäten 189, 191
- Soziale Sicherungssysteme 190-191, 194, 261, 303
- Sozialwissenschaften 47, 301
- Sri Lanka 223, 224
- Stadtplanung 195
- Standards 234, 254, 261, 268, 275, 335
 - Haftungsstandards 244
 - ISO-Standard 268
 - Peer-review 268
 - Sicherheitsstandards 76, 167, 268
 - Umweltstandards 185, 232, 337
 - Verhaltensstandards 267
- Statistik 53-54, 144, 152
- Staudämme 70, 72, 217
 - Coloradostaudamm 72
 - Dreischluchtenstaudamm 73
 - Gabcikovostaudamm 73
 - Koynadamm 73
 - Narnadastaudamm 73
- Stickoxide (NO_x) 120, 138, 153
- Stickstoffimporte 124
 - Critical loads 126, 128
- Stickstofffixierung 119
- Stoffkreisläufe 105, 138, 159
- Störfallverordnung 45
- Strukturanpassungen 261
- Süßwasserverknappung 51, 192, 207, 214
- Syndrome des globalen Wandels 52, 209, 214-220
 - Altlasten-Syndrom 217
 - Aralsee-Syndrom 217, 227
 - Disposition von Syndromen 219, 221, 226
 - Dust-Bowl-Syndrom 218, 221, 223, 224, 225, 228
 - Favela-Syndrom 217, 218, 220, 221
 - Grüne-Revolution-Syndrom 219, 221
 - Havarie-Syndrom 217
 - Hoher-Schornstein-Syndrom 220
 - Katanga-Syndrom 217
 - Kleine-Tiger-Syndrom 217, 219
 - Landflucht-Syndrom 219
 - Massentourismus-Syndrom 217
 - Müllkippen-Syndrom 217, 218
 - Raubbau-Syndrom 215
 - Sahel-Syndrom 218, 219, 227
 - Suburbia-Syndrom 217
 - Verbrannte-Erde-Syndrom 217, 218
- T
- Tanker Owners Voluntary Agreement concerning Liability for Oil Pollution (TOVALOP) 269
- TCE-Fall 170, 172, 173
- Technik 176, 186, 309
 - Stand der Technik 233-234, 258
 - Technikfeindlichkeit 177, 288
 - Technikfolgenabschätzung 114, 215, 307
- Technologien 71, 73, 167, 180, 186, 215, 234, 271, 286, 301, 308, 315, 321
 - Risikotechnologien 77, 182, 275
 - Technologiepfade 185, 311
- Thailand 106, 224
- Transformationsländer 224, 262
- Treibhausgase 51, 134, 136, 138, 141-142, 153, 220
 - Kohlendioxid (CO₂) 120, 142, 145-146, 281, 308
 - Methan (CH₄) 120, 142, 145, 221
- Trinkwasser 51, 132, 172, 190, 220
- Tropical Ocean Global Atmosphere Programme (TOGA) 140
- Tschernobyl 70, 73, 167, 176, 245, 268, 304
- Tsunamis; *s. Naturkatastrophen*
- U
- Übereinkommen der Vereinten Nationen zur Bekämpfung der Wüstenbildung in den von Dürre und/oder Wüstenbildung schwer betroffenen Ländern, insbesondere in Afrika (CCD) 206, 262, 276
- Übereinkommen über die biologische Vielfalt (CBD) 109, 263, 267
- Uganda 88, 91
- Ukraine 75, 142, 224
- Umwelt
 - Degradation 192, 205, 216, 227

- Kritikalität 192, 261, 324
 - Management 50, 268, 296-297
 - Monitoring 113, 206, 295, 315, 329, 335
 - Politik 141, 257, 296
 - Umwelt-Grünbuch 245
 - Umweltauswirkungen 253, 300
 - Umweltbildung; *s.* Bildung
 - Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) 130, 141, 200, 263
 - United Nations (UN); *s.* Vereinte Nationen
 - United Nations Convention to Combat Desertification in Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa (CCD); *s.* Übereinkommen der Vereinten Nationen zur Bekämpfung der Wüstenbildung in den von Dürre und/oder Wüstenbildung schwer betroffenen Ländern, insbesondere in Afrika
 - United Nations Environment Programme (UNEP); *s.* Umweltprogramm der Vereinten Nationen
 - United Nations Framework Convention on Climate Change (FCCC); *s.* Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen
 - Umweltqualität 257, 259
 - Umweltrecht 233, 238, 241, 252, 297, 336
 - Umweltgesetzbuch 239, 253
 - Umweltprivatrecht 243, 246
 - Umweltsysteme 159, 209-210, 213, 306, 312, 325-326
 - Bifurkation 186, 210, 213
 - Chaotische Dynamik 210
 - Fuzzy Logic 213
 - Hysterese 210
 - Komplexität 99, 209, 211
 - Nichtlinearität 209, 211, 214
 - Stabilität 99, 210
 - Steuerung 213, 315
 - Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) 129, 254, 300
 - UN-Charta; *s.* Charta der Vereinten Nationen
 - United Nations Economic Commission for Europe (UN-ECE); *s.* Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa
 - United Nations Framework Convention on Climate Change (FCCC); *s.* Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen
 - Unternehmen 172, 185, 212, 250, 258, 263, 267, 276, 280, 288-289, 293-295, 297, 299
 - USA 56, 76, 83, 91, 95, 114, 201, 221, 239, 243, 280
 - Iowa 240
 - Kalifornien 240, 253
- V**
- Vereinte Nationen (UN) 141, 157, 265, 267
 - Verhaltenskodizes 267, 296
 - Versicherungen 55, 232, 242-243, 250, 293
 - Haftpflichtversicherung 244, 247
 - Versicherungsprämien 232, 236
 - Verstädterung 195, 207, 218
 - Favelabildung 195
 - Verteilungsgerechtigkeit 56, 234
 - Verteilungsproblem 48, 136
 - Verursacher; *s. auch* Betroffene 171, 214, 216-217, 238, 240, 243, 273, 275, 324
 - Verwundbarkeit 50, 139, 165, 189, 194, 196-197, 200, 214, 218
 - Soziale Verwundbarkeit 188-189, 193, 195, 271
 - Vietnam 88, 106, 223
 - Vorsorgeprinzip 133, 233, 234, 294, 316
 - Vulkanausbrüche; *s.* Naturkatastrophen
- W**
- Wälder 124, 126-127, 152, 156, 215, 225
 - Waldbrände 165
 - Waldsterben 127
 - Waffensysteme 74, 76, 180
 - ABC-Waffen 75
 - Mittelstreckensysteme 75
 - Nuklearwaffen 74
 - Strategische Kernwaffenträger (START) 75
 - Verbot biologischer Waffen (BWÜ) 76
 - Verbot chemischer Waffen (CWÜ) 76
 - Weltbank 73, 264
 - Welternährung; *s. auch* Hungerkrisen 51, 80, 204-205, 207-208, 325
 - Welternährungsprogramm der Vereinten Nationen (WFP) 198
 - Weltfrieden 264, 265
 - Grünhelme 265
 - Weltgesundheitsorganisation (WHO) 87, 91, 200, 202, 263
 - Wertbaum-Analyse 280
 - Westantarktische Eisschilde 61, 137
 - Wiener Übereinkommen über die zivilrechtliche Haftung für Nuklearschäden 245, 268
 - Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN-ECE) 128, 130
 - Wissen 49, 116, 145, 168, 171, 175, 178, 186, 234, 238, 265, 286, 289, 291-296, 298-299, 316, 334
 - Transparente Wissenserzeugung 276
 - Wissenstransfer 337
 - World Food Programme (WFP); *s.* Welternährungsprogramm der Vereinten Nationen
 - World Health Organization (WHO); *s.* Weltgesundheitsorganisation
- X**
- Xenobiotika 62, 119, 129-130
- Z**
- Zwischenstaatlicher Ausschuß für Klimaänderungen 124, 137, 141, 192, 263
 - Zyklische Ereignisse 37

