



WBGU

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG
GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN

materialien

**Ingeborg Schinninger:
Globale Landnutzung**

**Externe Expertise für das WBGU-Hauptgutachten
"Welt im Wandel: Zukunftsfähige Bioenergie und
nachhaltige Landnutzung"**

Berlin 2008

Externe Expertise für das WBGU-Hauptgutachten
"Welt im Wandel: Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung"
Berlin: WBGU
ISBN 978-3-9396191-21-9
Verfügbar als Volltext im Internet unter http://www.wbgu.de/wbgu_jg2008.html

Autorin: Ingeborg Schinninger
Titel: Globale Landnutzung
Zürich, Berlin 2008
Veröffentlicht als Volltext im Internet unter http://www.wbgu.de/wbgu_jg2008_ex09.pdf

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen
Geschäftsstelle
Reichpietschufer 60–62, 8. OG.
10785 Berlin

Telefon	(030) 263948 0
Fax	(030) 263948 50
E-Mail	wbgu@wbgu.de
Internet	http://www.wbgu.de

Alle WBGU-Gutachten können von der Internetwebsite <http://www.wbgu.de> in deutscher und englischer Sprache herunter geladen werden.

Externe Expertise "Entwicklung der globalen Landnutzung"

Inhalt

1	<i>Bioenergie und globale Landnutzung: Status Quo und Trends</i>	2
1.1	Nachhaltigkeit der globalen Landnutzung	2
1.2	Status quo und Trends der globalen Landbedeckung	10
1.3	Status quo und Trends der globalen Landnutzung	28
1.4	Bioenergie	43
2	<i>Literatur</i>	48

1 Bioenergie und globale Landnutzung: Status Quo und Trends

1.1 Nachhaltigkeit der globalen Landnutzung

Definition

Der Begriff der Nachhaltigkeit stammt aus der Forstwirtschaft des 18. und 19. Jahrhunderts und entspricht dem Konzept, dem Wald nur so viel Holz zu entnehmen, wie periodisch nachwächst (Wachter, 2006). Nachhaltige Entwicklung bzw. *sustainable development* ist *“development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs”* (WCED, 1987).

Das heute am häufigsten verwendete Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit umfasst die Dimensionen Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft. Während der Diskurs über nachhaltige Entwicklung primär auf Umwelt und Wirtschaft zielte, werden die sozialen, politischen und kulturellen Aspekte von Nachhaltigkeit zunehmend stärker miteinbezogen (Sathaye et al., 2007).

Indikatoren

Die *Commission on Sustainable Development der United Nations* (CSD) entwickelte ein Set von 96 Indikatoren (davon 50 Kern-Indikatoren) um die nachhaltige Entwicklung der Länder vollständig und differenziert bewerten zu können (UN, 2007a). Einen Überblick über die Themenbereiche, die von den Indikatoren abgedeckt werden, gibt Tab. 1, in Tab. 2 sind die CSD-Indikatoren zum Themenbereich „Land“ aufgelistet.

Im Gegensatz zu den CSD-Indikatoren, welche ein Referenzsystem für die Länder zur Überprüfung des Fortschritt in Richtung nachhaltiger Entwicklung im Allgemeinen und in Richtung national definierter Ziele im Speziellen darstellen sollen, wurden die MDG-Indikatoren (MDG = *Millenium Development Goals*) entwickelt, um ein globales

Monitoring des Fortschritts im Erreichen der international verankerten Ziele zu ermöglichen (UN, 2007a).

Tab. 1: Themenbereiche der CSD-Indikatoren. Quelle: UN, 2007a.

•Poverty	•Natural hazards	•Economic development
•Governance	•Atmosphere	•Global economic partnership
•Health	• <i>Land</i>	•Consumption and production patterns
•Education	•Oceans, seas and coasts	
•Demographics	•Freshwater	
	•Biodiversity	

Tab. 2: CSD-Indikatoren zum Themenbereich „Land“. Quelle: UN, 2007a.

Theme	Sub-theme	Core indicator	Other indicator
<i>Land</i>	Land use and status		Land use change Land degradation
	Desertification		Land affected by desertification
	Agriculture	Arable and permanent cropland area	Fertilizer use efficiency Use of agricultural pesticides Area under organic farming
	Forests	Proportion of land area covered by forests	Percent of forest trees damaged by defoliation Area of forest under sustainable forest management

Während die CSD-Indikatoren ein breites Spektrum an Themen abdecken, die für alle drei Säulen einer nachhaltigen Entwicklung – ökonomische, soziale und ökologische Entwicklung – wesentlich sind, sind die 48 MDG-Indikatoren eng mit den acht Zielen

der United Nations Millennium Declaration verbunden (<http://mdgs.un.org/unsd/mdg/Default.aspx>). Themen einer nachhaltigen Entwicklung, welche nicht durch die MDG-Indikatoren abgedeckt sind, beinhalten Demografie, Naturgefahren, Governance und Makroökonomie (UN, 2007a).

National Sustainable Development Strategies (NSDS), wie sie in der Agenda 21, dem Aktionsprogramm für nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen 1992 empfohlen wurden (<http://www.unesco.ch/biblio-d/agenda21.htm>), sind ein effektives Mittel, um die nationalen Ziele, die zu einer nachhaltigen Entwicklung führen sollen, in konkrete Richtlinien und Aktionen umzuwandeln (UN, 2007a,b). Indikatoren spielen eine bedeutende Rolle in verschiedenen Stufen (Abschätzung, Monitoring, Berichterstattung oder Evaluierung) einer NSDS. Da CSD-Indikatoren viele Themenbereiche der nachhaltigen Entwicklung abdecken, auf nationalen Level orientiert sind und methodisch detailliert beschrieben sind, werden sie als wertvolles Hilfsmittel in all den Stufen einer NSDS angesehen (UN, 2007a). In jüngster Zeit wurde auch dem Klimawandel als einer globalen Herausforderung für nachhaltige Entwicklung vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt. Die CSD betonte die Notwendigkeit, „*climate change plans and policies*“ in NSDS zu integrieren (UN, 2007b).

Nachhaltigkeit im Landwirtschaftssektor

Der Bevölkerungszuwachs in den nächsten 50 Jahren wird etwa 3 Milliarden betragen, bereits heute hungern 800 Millionen täglich. Der Bedarf an Nahrung einer steigenden Weltbevölkerung bedroht natürliche Ressourcen, da Menschen versuchen, immer höhere Erträge zu erzielen und/oder neue Flächen landwirtschaftlich zu nutzen. Die Folgen sind bereits evident: Bodenerosion, Salinität, Desertifikation, Urbanisation, Wasserknappheit, kleiner werdende Waldflächen, Bedrohung der Biodiversität. Neben diesen Herausforderungen, die an eine nachhaltige Bewirtschaftung gestellt werden, kommen neue Herausforderungen durch den Klimawandel, welcher zu zusätzlichen Produktionsverlusten oder auch zu irreparablen Ökosystemschäden führen könnte, hinzu. Um diesen Herausforderungen zu begegnen ist ein ganzheitlicher und

systematischer Zugang erforderlich. Dieser Zugang muss nachhaltige Landnutzung und das Management natürlicher Ressourcen durch die Entwicklung und den Einsatz effizienter Agrar-Technologien steuern und somit Nahrungsmittelsicherheit und bäuerliche Existenzgrundlage gewährleisten (Fischer et al., 2002).

Zukünftige Landnutzung und landwirtschaftliche Produktion können nicht mit Sicherheit abgeschätzt werden. In Hinblick auf eine nachhaltige Entwicklung der landwirtschaftlichen Produktion empfehlen Fischer et al. (2002), dass jeder Staat seine Land- und Wasserressourcen bewertet und auf Nachhaltigkeit ausgerichtete Richtlinien und Management-Praktiken erstellt.

Die im Hinblick auf Klimawandel getroffenen Treibhausgas-Mitigations-Massnahmen im Landwirtschaftssektor können verschiedene Einflüsse auf eine nachhaltige Entwicklung nehmen. Tab. 3 zeigt den Grad und die Richtung dieses Einflusses von Mitigationsmassnahmen auf eine nachhaltige soziale, ökonomische und ökologische Entwicklung an (Smith et al., 2007).

Für eine global nachhaltige Entwicklung ist auch **nachhaltiges Waldmanagement** essentiell. Dennoch stehen Nachhaltigkeitsstrategien im politischen Entscheidungsprozess nicht im Vordergrund und vermissen eine strategische Koordination zwischen regionalen und lokalen Institutionen. Oft werden ökologische und sozio-ökonomische Effekte isoliert betrachtet bzw. das Wissen über potentielle langfristige Auswirkung gängiger Waldmanagementstrategien ist nicht ausreichend vorhanden. Neue Anreize zu einer nachhaltigeren Waldnutzung und zu einer Verringerung der Abholzung können etwa PES-Schemata (= *Payment for Environmental Services*) bieten (Nabuurs et al., 2007).

Gemäss FAO (2006) gibt es viele positive Zeichen in Richtung eines nachhaltigen Waldmanagements, wie etwa intensiv bewirtschaftete Baumpflanzungen oder verstärkte Bemühungen um Naturschutz. Aber auch negative Trends, wie Degradation oder Umwandlung von Primärwald in Ackerland, dauern an.

Managementpläne werden als Vorausbedingung für die Entwicklung von sinnvollen Managementstrategien gesehen. Beinahe 90 % der Wälder in den Industriestaaten werden gemäss eines formellen oder informellen Managementplans bewirtschaftet (FAO, 2001), in den Entwicklungsländern sind es etwa 6 % der Waldflächen (123 Millionen Hektar).

Tab. 3: Potential sustainable development consequences of mitigation options. Quelle: Smith et al., 2007.

Activity category	Sustainable development			Notes
	Social	Economic	Environmental	
Croplands – agronomy	?	+	+	1
Croplands – nutrient management	?	+	+	2
Croplands – tillage/residues	?	?	+	3
Croplands – water management	+	+	+	4
Croplands – rice management	+	+	+	5
Croplands – set-aside & LUC	?	-	+	6
Croplands – agro-forestry	+	?	+	7
Grasslands – grazing, nutrients, fire	+	+	+	8
Organic soils – restoration	?	?	+	9
Degraded soils – restoration	+	+	+	10
Biosolid applications	+	-	+/-	11
Bioenergy	+	?	+/-	12
Livestock – feeding	-/?	+	?	13
Livestock – additives	-/?	n/d	n/d	14
Livestock – breeding	-/?	n/d	n/d	14
Manure management	?	n/d	n/d	15

Notes:

+ denotes beneficial impact on component of SD

- denotes negative impact

? denotes uncertain impact

n/d denotes no data

1 Improved yields would mean better economic returns and less land required for new cropland. Societal impact uncertain - impact could be positive but could negatively affect traditional practices.

2 Improved yields would mean better economic returns and less land required for new cropland. Societal impact uncertain - impact could be positive but could negatively affect traditional practices.

3 Improves soil fertility may not increase yield so societal and economic impacts uncertain.

4 All efficiency improvements are positive for sustainability goals and should yield economic benefits even if costs of irrigation are borne by the farmer.

5 Improved yields would mean better economic returns and less land required for new cropland. Societal impacts likely to be benign or positive as no large-scale change to traditional practices.

6 Improve soil fertility but less land available for production; potential negative impact on economic returns.

7 Likely environmental benefits, less travel required for fuelwood; positive societal benefits; economic impact uncertain.

8 Improved production would mean better economic returns and less land required for grazing; lower degradation. Societal effects likely to be positive.

9 Organic soil restoration has a host of biodiversity/environmental co-benefits but opportunity cost of crop production lost from this land; economic impact depends upon whether farmers receive payment for the GHG emission reduction.

10 Restoration of degraded lands will provide higher yields and economic returns, less new cropland and provide societal benefits via production stability.

11 Likely environmental benefits though some negative impacts possible (e.g., water pollution) but, depending on the bio-solid system implemented, could increase costs.

12 Bio-energy crops could yield environmental co-benefits or could lead to loss of bio-diversity (depending on the land use they replace). Economic impact uncertain. Social benefits could arise from diversified income stream.

13 Negative/uncertain societal impacts as these practices may not be acceptable due to prevailing cultural practices especially in developing countries. Could improve production and economic returns.

14 Negative/uncertain societal impacts as these practices may not be acceptable due to prevailing cultural practices especially in developing countries. No data (n/d) on economic or environmental impacts.

15 Uncertain societal impacts. No data (n/d) on economic or environmental impacts.

Ökosystemservices und nachhaltige Landnutzung

Ökosysteme stellen Waren und Dienstleistungen zur Verfügung, die für das Funktionieren der Biosphäre und das Wohlergehen der Gesellschaft von grosser Bedeutung sind (Reid et al., 2005; Hassan et al., 2005). Ökosystemservices werden in vier Kategorien unterteilt:

i) Unterstützende (*supporting*) Services, wie Primärproduktion, Sekundärproduktion oder Nährstoffkreislauf. Unterstützende Services stellen eine Basis für die drei höheren Kategorien dar.

ii) Bereitstellende (*provisioning*) Services, wie Nahrung, Trinkwasser, Holz und Brennstoffe.

iii) Regulierende (*regulating*) Services, welche Schutz vor Naturgefahren wie Fluten, Lawinen oder Steinschlag bieten und die Regulation von Klima, Krankheiten und Wasser gewährleisten.

iv) Kulturelle (*cultural*) Services, welche den ästhetischen und spirituellen Ansprüchen und Bedürfnissen von Menschen gerecht werden.

Einen wesentlichen Einfluss auf Ökosystemservices hat Landnutzung. Abb. 1 stellt die *Trade-offs* zwischen Landnutzungsform und verschiedenen Ökosystemdienstleistungen qualitativ dar. Während natürliche Ökosysteme viele Dienstleistungen in hoher Qualität und grosser Menge zur Verfügung stellen können, überwiegt auf intensiv genutzten Ackerflächen hingegen die Nahrungsmittelproduktion zu Lasten anderer Ökosystemservices. Moderne Landnutzungs-Praktiken können zwar das kurzfristige Angebot von Ökosystemwaren steigern, langfristig gesehen aber die Qualität vieler Ökosystemservices auf regionalem als auch globalem Niveau senken. Richtlinien zu einer nachhaltigen Landnutzung müssen gemäss Foley et al. (2005) auch die Resilienz verschiedener Landnutzungsformen bewerten und fördern. Bewirtschaftete Ökosysteme weisen oft eine geringe Resistenz gegenüber z.B. invasiven Arten oder extremen Klimaereignissen auf. Beispiele von Land-Managementstrategien, welche ökologischen, ökonomischen und sozialen Nutzen haben, sind etwa (i) die Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion pro Fläche, pro Einheit zugefügten Düngers und pro Einheit verbrauchten Wassers; (ii) der Erhalt und Anstieg von organischer Bodensubstanz auf Ackerflächen, welche ein Schlüsselfaktor für Wasserhaltekapazität,

Nährstoffverfügbarkeit und Kohlenstoffsequestrierung ist; (iii) Steigerung der Grünflächen in Stadtgebieten um Oberflächenabfluss und Hitzeinsel-Effekte zu reduzieren; (iv) die Anwendung von Methoden im Wald- und Feldbau, die Nahrung und Faserstoffe zur Verfügung stellen, aber dennoch Lebensraum für gefährdete Arten zulassen; (v) der Erhalt lokaler Biodiversität und der damit verbundenen Ökosystemservices wie Bestäubung und biologische Schädlingsbekämpfung (Foley et al., 2005).

Die Auswirkungen des Klimawandels auf Ökosysteme und ihre Dienstleistungen werden weltweit ungleich verteilt sein. Durch die grossen nationalen und regionalen Unterschiede in den natürlichen und sozio-ökonomischen Gegebenheiten sind keine „einfachen“ Lösungen für das Problem von Ökosystemdegradation und von Verlusten an Ökosystemservices möglich (Sathaye et al., 2007). Viele Interaktionen, zeitverzögerte Auswirkungen und Rückkoppelungen generieren komplexe Muster, die noch nicht vollständig verstanden werden.

Massnahmen, die man in der Vergangenheit getroffen hat, um der Degradation von Ökosystemen entgegenzuwirken, brachten bedeutende Ergebnisse, doch diese Verbesserungen konnten mit der wachsenden Belastung nicht Schritt halten (Reid et al., 2005). Eine grössere Anzahl von Fallstudien wäre erforderlich, um die Verbindung zwischen nachhaltiger Entwicklung und Klimawandel-Mitigation in Industrie- und Entwicklungsländern zu veranschaulichen (Sathaye et al., 2007). Gemäss Fischlin et al. (2007) erfordert die Sicherung einer nachhaltigen Entwicklung und einer Anpassung an den Klimawandel ein klares und strukturiertes System von Entscheidungsfindungen auf allen Ebenen.

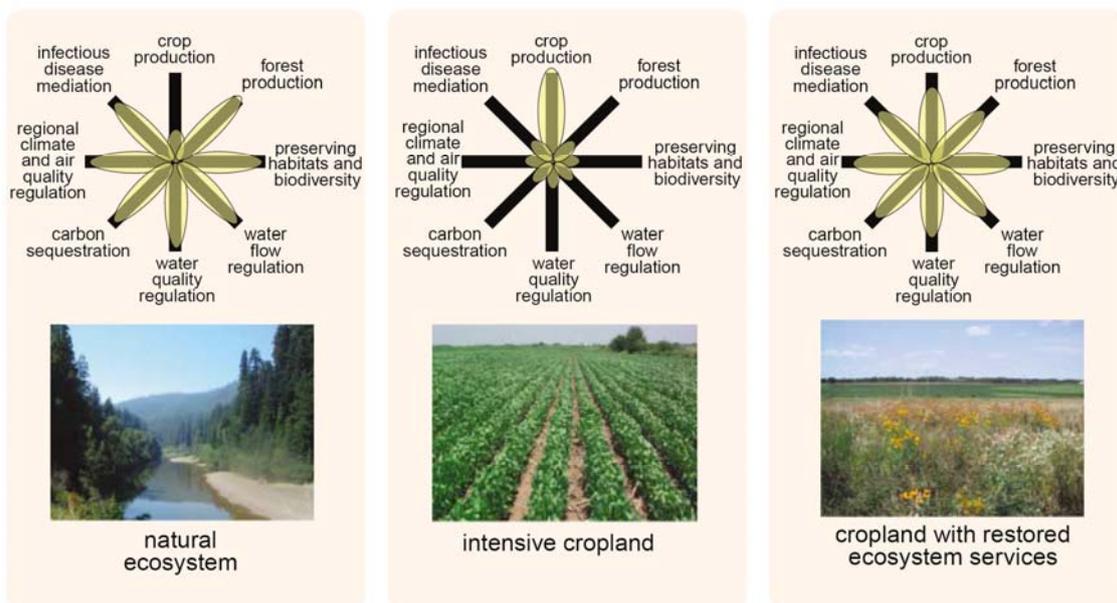


Abb. 1: Conceptual framework for comparing land use and trade-offs of ecosystem services. The provisioning of multiple ecosystem services under different land-use regimes can be illustrated with these simple “flower” diagrams, in which the condition of each ecosystem service is indicated along each axis. (In this qualitative illustration, the axes are not labeled or normalized with common units.) For purposes of illustration, we compare three hypothetical landscapes: a natural ecosystem (left), an intensively managed cropland (middle), and a cropland with restored ecosystem services (right). The natural ecosystems are able to support many ecosystem services at high levels, but not food production. The intensively managed cropland, however, is able to produce food in abundance (at least in the short run), at the cost of diminishing other ecosystem services. However, a middle ground – a cropland that is explicitly managed to maintain other ecosystem services – be able to support a broader portfolio of ecosystem services. (Quelle: Foley et al., 2005)

Landbedeckung und Landnutzung haben direkten Einfluss auf die Qualität und Quantität von Ökosystemwaren und -dienstleistungen (Vitousek et al., 1997) wie Biodiversität (Sala et al., 2000) oder Trinkwasserverfügbarkeit (Rosegrant et al., 2002), sie sind die primäre Ursache für Bodendegradation (Tolba et al., 1992) und beeinflussen biogeochemische Kreisläufe (McGuire et al., 2001) und das lokale, regionale und globale Klima (Brokvin et al., 1999; Chase et al., 1999; Houghton et al., 1999).

Um fundamentale Fragen über zukünftige Nahrungsmittelsicherheit, Biodiversität, Anpassung an Klimawandel oder Nachhaltigkeit beantworten zu können, bedarf es einer globalen Analyse von Landbedeckungs- und Landnutzungsänderungen (Heistermann et al., 2006, Turner et al., 2007). Geographische und ökonomische Modelle dienen dazu, Treiber und Prozesse zu analysieren um Entscheidungsfindungen und das Erstellen von Richtlinien zu unterstützen. Gemäss Heistermann et al. (2006) sind jedoch Fragen zum Einbezug von Bodendegradation, die Verfügbarkeit von Wasserressourcen und die Interaktionen zwischen Landknappheit und Intensivierung von Landnutzung als auch der Einbezug von Rückkoppelungen zwischen Gesellschaft und Umwelt in den zur Zeit gängigen Modellen noch ungenügend beantwortet. Auch Angaben über den aktuellen Status von Landbedeckung und Landnutzung können auf Grund unterschiedlicher Datenlage variieren.

1.2 Status Quo und Trends der globalen Landbedeckung

Meyer (1995) beschreibt *Landbedeckung* als den physikalischen Status der Landoberfläche, z.B. Ackerflächen, Wälder oder Berge. Die Definition von Landbedeckung wurde erweitert und beinhaltet nun auch anthropogene Strukturen wie Gebäude oder Fahrbahnen als auch andere Aspekte der natürlichen Umwelt, wie etwa Bodentyp, Biodiversität, Oberflächen- und Grundwasser (Meyer, 1995).

Der Mensch verändert seine Umwelt auf vielfache Weise. Zu den wichtigsten Einflussnahmen zählen Landbedeckungsänderungen, welche sich auf Veränderungen der biophysikalischen Merkmale der Erdoberfläche beziehen, und Landnutzung, welche durch den Zweck der menschlichen Nutzung bestimmt ist (Lambin et al., 2001; Turner et al., 1990). Direkte und unmittelbare Effekte von anthropogen bedingten Landbedeckungs- und Landnutzungsänderungen auf den Lebensraum (Umwandlung, Verlust, Fragmentierung) führen zu vermehrter Erosion der umgewandelten Oberfläche, Veränderungen in der Hydrologie, dem Nährstoffkreislauf und dem Wärmehaushalt. Indirekte Effekte manifestieren sich auf Ökosystemebene in Funktionsänderungen wie

etwa einer Veränderung der Artzusammensetzung und/oder einem Verlust an Biodiversität (Jarnagin, 2004).

Die **Treiber** für Landbedeckungs- und Landnutzungsänderungen sind mannigfach und durch ein komplexes Zusammenspiel gekennzeichnet (Lambin & Geist, 2006). Man unterscheidet zwischen biophysikalischen und sozio-ökonomischen Treibern. Erstere beschreiben die natürlichen Einflussfaktoren, die Landbedeckungs- und Landnutzungsänderungen hervorrufen, und beinhalten Klima, Boden, Hydrologie und Vegetation. Die sozio-ökonomischen Treiber (nähere Beschreibung siehe Kapitel 3.1.5) umfassen die Triebkräfte menschlicher Nutzung.

Das allgemeine Verständnis über die Ursachen von Landbedeckungs- und Landnutzungsänderungen wird gemäss Lambin et al. (2001) jedoch von Vereinfachungen dominiert. Die Autoren weisen darauf hin, dass weder „Bevölkerung“ noch „Armut“ allein die einzigen und grössten Ursachen globaler Landbedeckungsänderung – hauptsächlich die Umwandlung von Waldflächen in Kulturland – darstellen. Vielmehr verursachen die Reaktionen der Menschen auf die ökonomischen Möglichkeiten, welche wiederum eng an andere soziale, politische und infrastrukturelle Veränderungen geknüpft sind, Landbedeckungsänderungen.

Die Oberfläche der Erde misst 510 Millionen km², wobei der Anteil der Landfläche etwa 144.5 Millionen km² (29 %) beträgt und ca. 365.5 Millionen km² (71 %) von Wasser bedeckt sind.

Satellitenbezogene Daten (*Remote sensing*) werden als Hauptinformationsquelle genutzt, um Landbedeckung und Landbedeckungsänderungen auf regionalem und globalem Niveau zu beschreiben (deFries und Townsend, 1999). Basierend auf AVHRR-Remote sensing-Daten (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) von 1992-1993 erstellten Hansen et al. (2002) eine Übersicht über die globale Landbedeckung (Tab. 4 und Abb. 2). Ihre Klassifikation beinhaltet 13 Gruppen, die räumliche Auflösung beträgt 1 km. Aufbauend auf den Daten von Hansen et al. (2006) zeigt Abb. 3 eine vereinfachte Darstellung (11 Klassen, 4 km-Raster).

In Abb. 4 ist die Landbedeckung für das Jahr 2000 basierend auf MODIS Global Land Cover (Auflösung 1 km) wiedergegeben. Insgesamt 17 Landbedeckungsklassen des *International Geosphere Biosphere Program* (IGBP) wurden in 9 Klassen zusammengefasst, welche Wälder (5 Klassen, 21%), Buschland (2 Klassen, 19%), Savannen (2 Klassen, 14%), Grasland (9%), Ackerland (9%), Mosaik von Ackerland und natürlicher Vegetation (2%), Ödland (14%), Stadtgebiet (0.5%), Feuchtgebiete (0.2%) und andere (Schnee und Eis, Wasserkörper; 11%) beinhalten (Giri et al., 2005). Die IGBP-Klassen sind definiert als Wälder (>60% holzige Vegetation >2 m Höhe), Buschland (>10% Bodenbedeckung mit Büschen <2 m Höhe), Savannen (Krautige und anderer Unterwuchs mit 10–30% Wald), Grasland (Krautige mit <10% Bäumen und Sträuchern), Ackerflächen (Feldfrüchte und brachliegender Boden) und Mosaik von Ackerflächen und natürlicher Vegetation (keine Komponente >60%) (Giri et al., 2005).

Die Definitionen der Landbedeckungsklassen variieren stark. So ist z.B. die Definition der FAO (FAO, 1997) für „Wald“ ein Kronenschluss von $\geq 10\%$, eine Fläche von ≥ 0.5 Hektar und eine Wuchshöhe von > 5 m.

Die grössten Änderungen in der Landbedeckung erfolgten durch Umwandlung von Wäldern und Grasland in Ackerflächen und Weiden – in den letzten 300 Jahren nahmen Acker- und Weideland um 460 % bzw. 560 % zu (Klein Goldewijk, 2001).

Tab. 4: Total class areas for the University of Maryland 1 km product. Quelle: Hansen et al., 2000.

Class	Area (km ²)	Per cent area
Needleleaf Evergreen Forest	5 277 925	3.67
Broadleaf Evergreen Forest	11 138 639	7.74
Needleleaf Deciduous Forest	569 299	0.40
Broadleaf Deciduous Forest	1 752 105	1.22
Mixed Forest	3 272 545	2.28
Woodland	16 533 042	11.50
Wooded Grassland	22 653 618	15.75
Closed Shrublands	7 436 875	5.17
Open Shrublands	17 938 741	12.47
Grassland	12 382 238	8.61
Cropland	11 126 625	7.74
Bare Ground	33 483 362	23.28
Urban and Built-up	260 092	0.18
Total	143 825 106	100.00

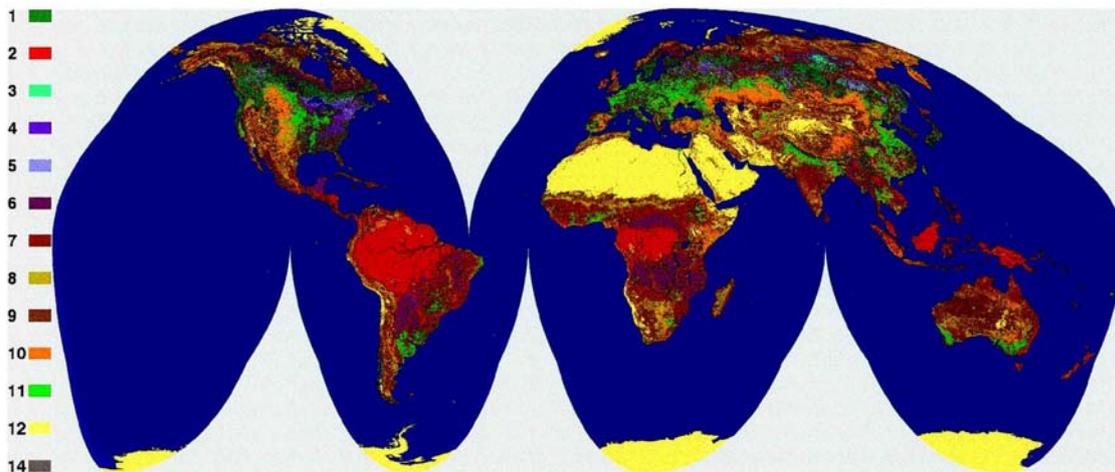


Abb. 2: Final classified product: 1=needleleaf evergreen forest; 2=broadleaf evergreen forest; 3=needleleaf deciduous forest; 4=broadleaf deciduous forest; 5=mixed forest; 6=woodland; 7=wooded grassland; 8=closed shrubland; 9=open shrubland; 10=grassland; 11=cropland; 12=bare ground; 14=urban and built-up. Quelle: Hansen et al., 2000.

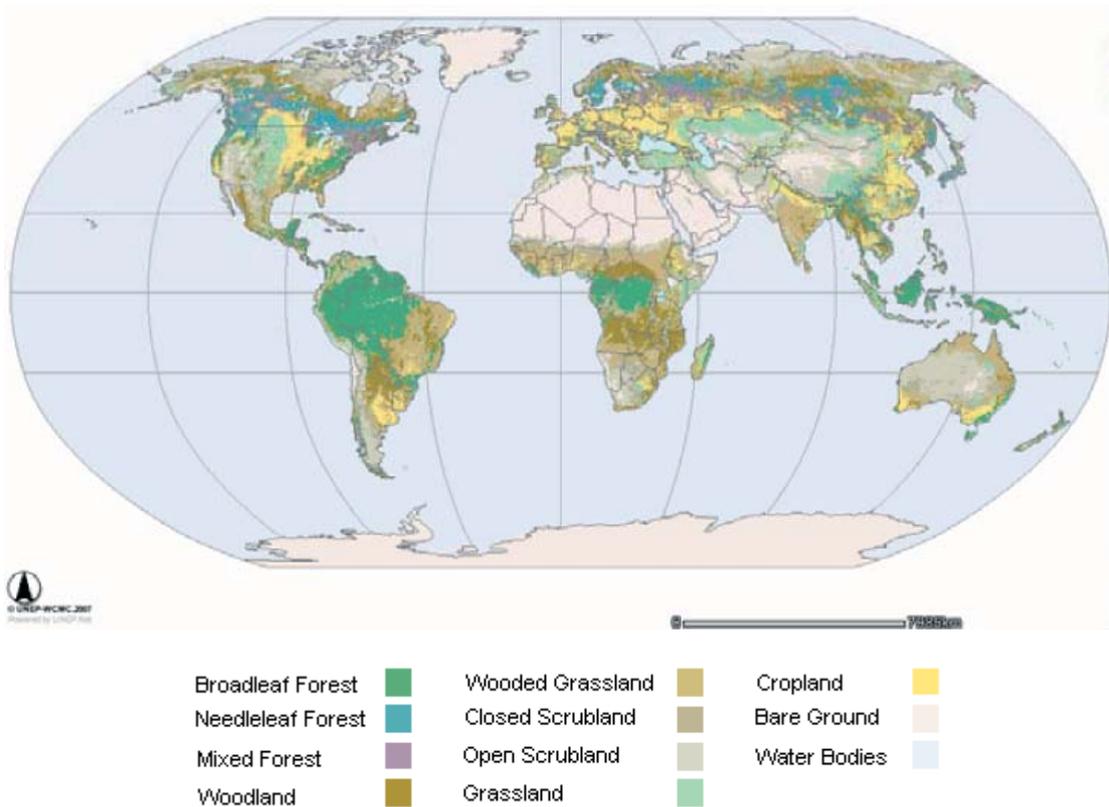


Abb. 3: Global Land cover, IMAPS World Atlas of Biodiversity; Quelle: <http://bure.unep-wcmc.org/imaps/gb2002/book/viewer.htm>

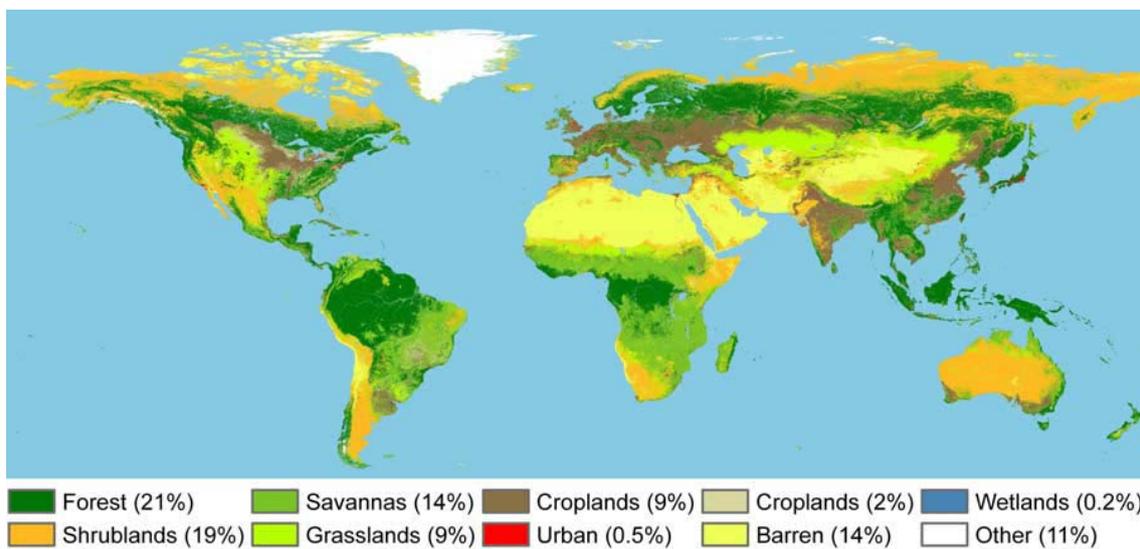


Abb. 4: Global distribution of land cover based on MODIS (1 km) satellite data using International Geosphere Biosphere Program land cover classes prepared by Boston University (Earth Observing System (EOS) Data Gateway, <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>). Cropland (2%) refers to cropland/natural vegetation mosaic. Quelle: Scanlon et al., 2007.

Fischer et al. (2002) geben in Tab. 5 und Abb. 5 einen Überblick über die globale Landbedeckung, wobei Wüsten und Wälder den grössten Anteil einnehmen. Die Autoren berechneten weiters, dass 19 % der Landfläche, welche Kultivierungspotential besitzt, in Waldökosystemen gelegen ist. Davon sind die grössten für Anbau geeigneten Flächen auf regionaler Ebene in Süd- und Nord-Amerika, gefolgt von Zentral-Amerika und Afrika (Fischer et al., 2002).

Tab. 5: Distribution of aggregate land cover classes. Quelle: Fischer et al., 2002.

Region	Aggregate land cover classes (%) ^a										
	(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(v)	(vi)	(vii)	(viii)	(ix)	(x)	(xi)
North America	6.3	11.1	26.3	7.6	4.0	2.6	1.0	8.5	6.8	25.2	0.4
Eastern Europe	0.5	2.1	9.9	32.2	51.6	0.1	0.0	0.0	2.1	0.0	1.4
Northern Europe	1.5	10.8	41.3	12.6	14.4	0.1	0.7	0.4	11.2	6.2	0.8
Southern Europe	0.6	14.1	19.8	21.8	35.6	0.6	0.0	2.9	4.0	0.3	0.3
Western Europe	0.6	6.2	13.5	6.0	68.8	0.2	0.1	0.2	2.5	0.7	1.3
Russian Federation	4.0	24.6	38.3	5.8	8.7	0.3	3.4	0.4	3.6	10.6	0.2
Central America & Caribbean	13.8	15.3	29.5	6.7	13.8	0.7	0.6	16.0	3.4	0.0	0.1
South America	13.3	15.4	39.2	14.8	3.4	2.9	0.3	5.6	2.9	2.0	0.1
Oceania & Polynesia	26.2	31.6	8.4	0.4	6.2	0.1	0.0	24.4	2.5	0.0	0.1
Eastern Africa	25.8	23.5	5.1	10.5	15.4	0.0	0.0	15.9	3.7	0.0	0.0
Middle Africa	15.5	31.7	29.3	4.8	5.2	0.0	0.1	11.6	1.9	0.0	0.0
Northern Africa	9.7	8.3	0.6	1.4	0.9	0.2	0.3	78.1	0.4	0.0	0.0
Southern Africa	38.4	0.6	1.6	17.8	7.2	0.0	0.1	33.9	0.3	0.0	0.1
Western Africa	25.4	16.3	2.1	6.1	2.3	0.1	0.5	46.0	1.2	0.0	0.0
Western Asia	5.2	0.5	1.8	6.5	5.8	0.3	0.0	78.5	1.2	0.1	0.1
Southeast Asia	3.8	3.0	51.3	10.7	9.1	17.6	0.0	0.1	4.0	0.0	0.2
South Asia	7.3	4.5	5.9	8.1	21.1	12.0	0.1	37.8	1.5	1.5	0.1
East Asia & Japan	24.4	7.0	11.5	8.2	6.6	9.6	0.1	29.9	1.9	0.8	0.1
Central Asia	33.2	1.7	2.2	14.3	9.0	2.1	0.0	32.1	3.7	1.4	0.2
Developing	17.1	11.9	17.8	9.3	7.2	4.1	0.2	29.3	2.2	0.7	0.1
Developed	8.1	18.5	26.6	7.1	9.9	1.3	1.6	7.7	4.9	13.9	0.4
World total	13.6	14.5	21.2	8.5	8.3	3.0	0.7	20.9	3.3	5.9	0.2

^a(i) Grassland; (ii) Woodland; (iii) Forest; (iv) Mosaics including cropland; (v) Mosaics, mainly agriculture; (vi) Dominantly cropland; (vii) Wetland; (viii) Desert and barren land; (ix) Water (coastal fringes); (x) Ice, cold desert; (xi) Urban.

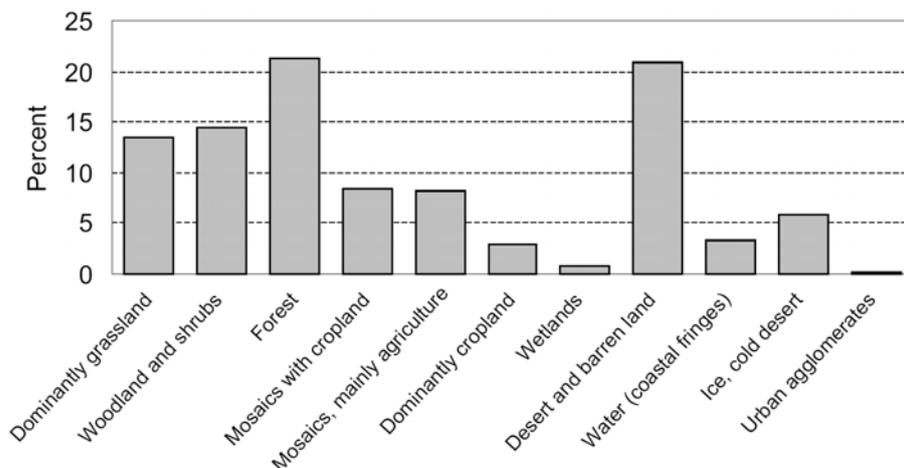


Abb. 5: World aggregated land cover classes (%). Quelle: Fischer et al., 2002.

Ökosysteme sind nicht nur von Klimawandel und einer Änderung der Spurengaskonzentration betroffen, auch weitere anthropogen verursachte Veränderungen wie Stickstoffdeposition, Verschmutzung und vor allem Landnutzungsänderungen haben Auswirkung auf Verteilung und Qualität von Ökosystemen. Diese Treiber und die Auswirkung deren synergistischer Effekte zu erfassen und in gängige Klima- und Ökosystem-Modelle zu integrieren, stellt eine wesentliche Herausforderung dar (Fischlin et al., 2007).

Um zeitabhängige Veränderungen in der Vegetationsverteilung zu simulieren und somit eine Abschätzung von Veränderungen in Ökosystemfunktionen und Ökosystemservices zu erhalten, werden *Dynamic Global Vegetation Models* (DGVMs) verwendet (Fischlin et al., 2007). Das Verschneiden von DGVMs mit Klimamodellen, das in letzter Zeit Fortschritte gemacht hat, ermöglicht Rückkoppelungseffekte zwischen Biosphäre und Prozessen der Atmosphäre zu erforschen (Fischlin et al., 2007). Abb. 6 zeigt die substanziellen Änderungen der Biomstruktur (= relative Deckung der dominanten Lebensform) mit einer projizierten Verschiebung der Ökosysteme Richtung höhere Breiten- und Längengrade bis zum Jahr 2100.

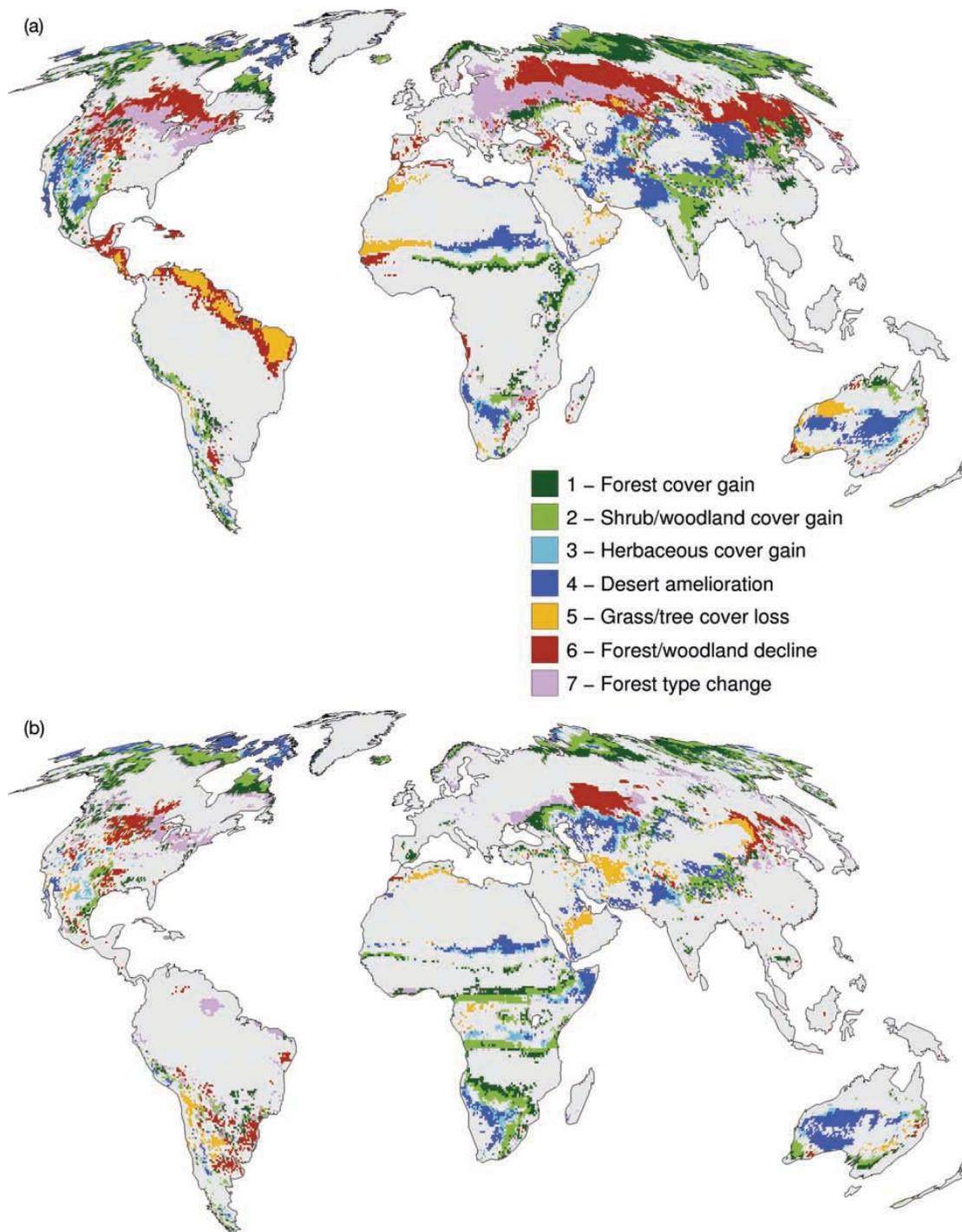


Abb. 6: Projected appreciable changes in terrestrial ecosystems by 2100 relative to 2000 as simulated by DGVM LPJ (Sitch et al., 2003; Gerten et al., 2004) for two SRES emissions scenarios (Nakićenović und Swart, 2000) forcing two climate models: (a) HadCM3 A2, (b) ECHAM5 B1 (Lucht et al., 2006; Schaphoff et al., 2006). Changes are considered appreciable and are only shown if they exceed 20% of the area of a simulated grid cell. Quelle: Fischlin et al., 2007.

Basierend auf Remote sensing-Daten, Expertenmeinungen, Flächenbestandserhebungen und Statistiken über Landbedeckung und Landnutzung auf regionaler, nationaler und internationaler Ebene fassten Lepers et al. (2005) rasche Landbedeckungsänderungen des Zeitraums 1981-2000 zusammen. Schwierigkeiten bei der Synthese bestehender Datensets über Landbedeckungsänderungen sind laut Lepers et al. (2005) fehlende Standarddefinition (so werden weltweit etwa 90 verschiedene Definitionen für „Wald“ verwendet), unterschiedliche räumliche Auflösung der Remote sensing-Daten als auch einer unterschiedliche zeitliche und räumliche Abdeckung der Datenerhebung. Die Ergebnisse ihrer Studie zeigen (Abb. 7, Abb. 8, Abb. 9), dass die grössten Gebiete rascher Landbedeckungsänderungen in Asien zu finden waren. In Südostasien kam es im Zeitraum 1981-2000 zu einem rapiden Anstieg der Landwirtschaftsfläche, oft assoziiert mit grossflächiger Abholzung. Das Amazonasbecken bleibt ein Hot Spot tropischer Abholzung. In Sibirien nahm die Walddegradation, die mit unnachhaltiger Nutzung und dem Anstieg in der Frequenz von Feuern verbunden ist, rasch zu. Eine Abnahme der landwirtschaftlich genutzten Fläche verzeichneten der Südosten der Vereinigten Staaten und der Osten Chinas. Weiters stellten Lepers et al. (2005) fest, dass auf Grund der existierenden Datenlage die Sahelzone nicht als Desertifikationszone ausgewiesen werden kann. Viele der am dichtesten bevölkerten und schnellsten wachsenden Städte waren in den Tropen zu finden.

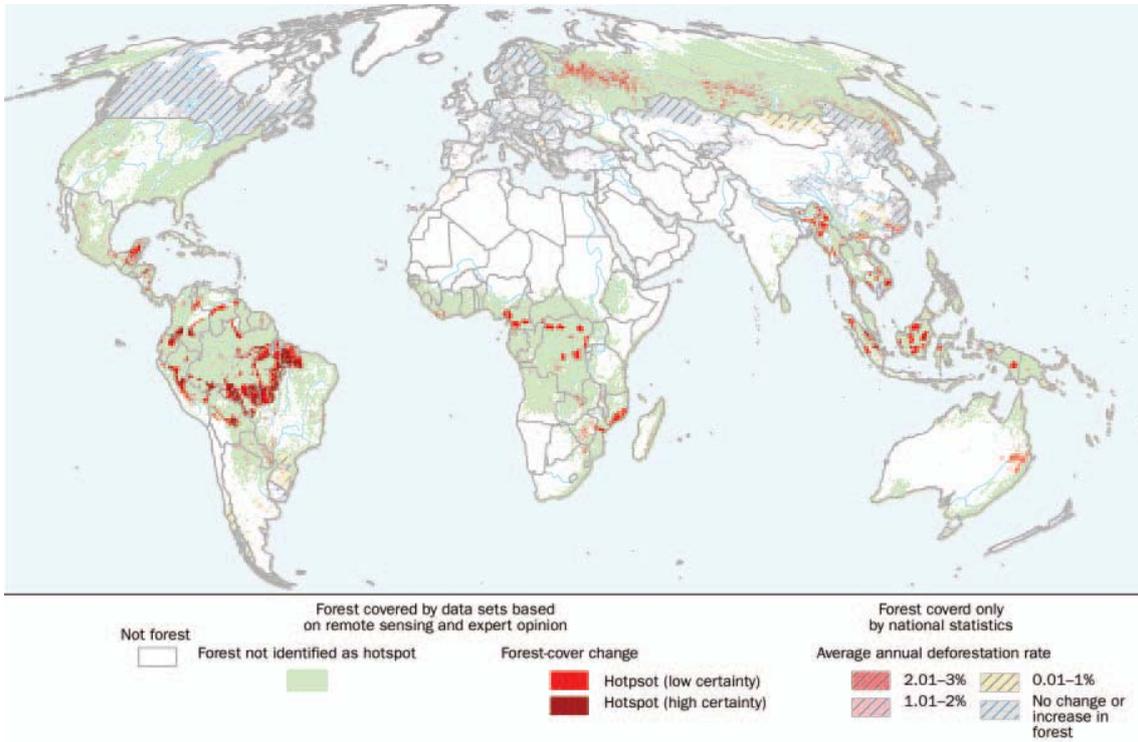


Abb. 7: Main areas of forest-cover changes over 20 years (1980–2000). Quelle: Lepers et al., 2005.

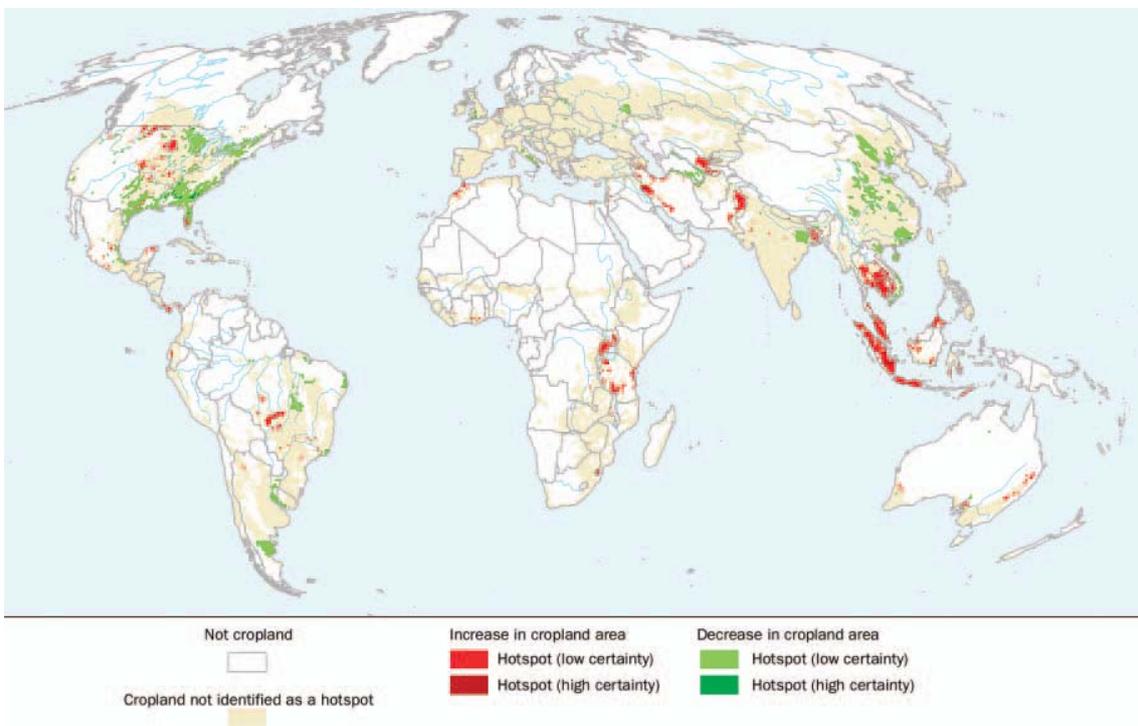


Abb. 8: Main areas of change in cropland extent over 10 years (1980–1990). Quelle: Lepers et al., 2005.

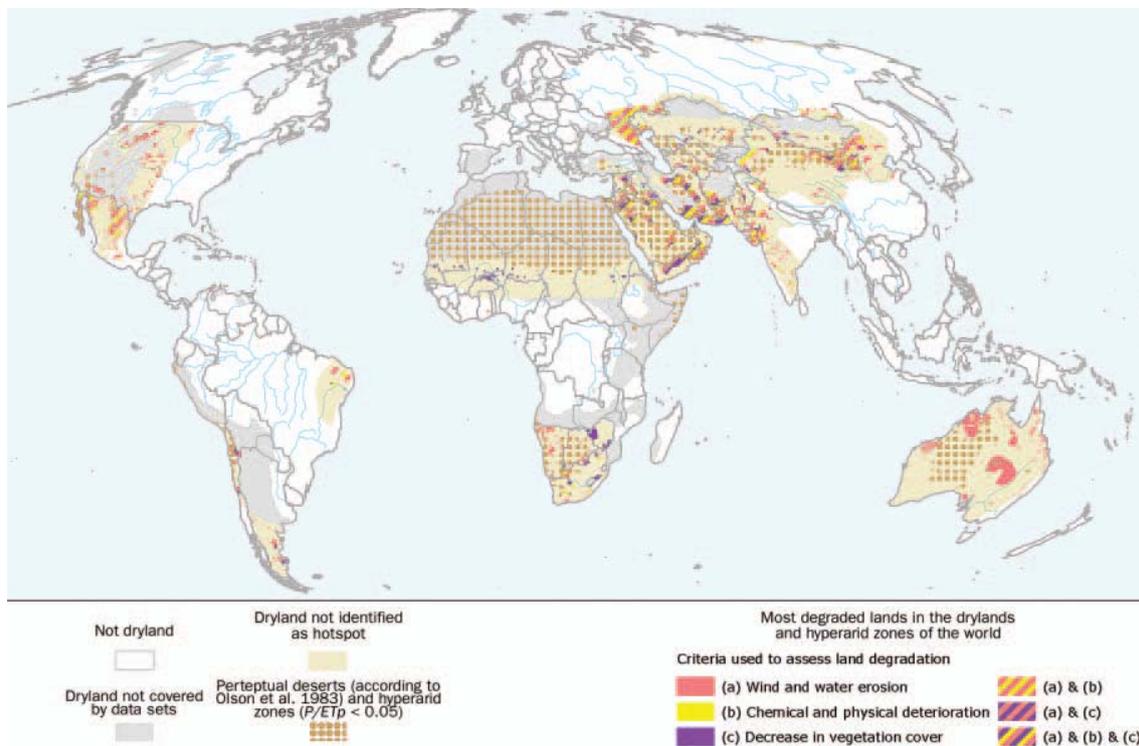


Abb. 9: Main areas of degraded land over 20 years (1980–2000). Quelle: Lepers et al., 2005.

In den vergangenen Jahrhunderten kam es vor allem in temperaten Zonen durch Umwandlung von Wäldern und Grasland in Kulturlächen und Weideland zu Landbedeckungs- und Landnutzungsänderungen, welche durch die veränderte Vegetationsbedeckung und einen Anstieg der Albedo einen Kühleffekt mit sich brachten (Bounoua et al., 2002; Govindasamy et al., 2001).

Basierend auf dem IMAGE 2.1 (*Integrated Model to Assess the Greenhouse Effect*) Model (Leemans et al., 1998), welches demografische und ökonomische Projektionen berücksichtigt und welches mit einem GCM (*General Circulation Model*) verknüpft wurde, entwickelten deFries et al. (2002) unter Einbezug der Vegetationsdichte über NDVI (*normalized difference vegetation index*) ein mögliches Szenario der Landbedeckung im Jahr 2050. Ihre Ergebnisse zeigen, dass zukünftige Landbedeckungsänderungen, die vor allem in den Tropen und Subtropen eintreten werden, durch reduzierte Kohlenstoff-Assimilation, reduzierten latenten Wärmestrom, abnehmender Evaporationskühlung und höherer Lufttemperatur einen Wärmeeffekt zur

Folge haben werden. Ausserdem zeigen die Ergebnisse, dass die Umwandlung der Landbedeckung, vor allem in den Tropen, auf Grund einer Abnahme der Evaporationskühlung während der Tageszeit zu einem Anstieg der DTR (*diurnal temperature range*) führen könnte.

DeFries et al. (2002) bezeichnen die Abschätzung der zukünftigen Landbedeckung und die Erstellung der zukünftiger Vegetationsverteilung (Abb. 10) als überaus schwierig: *“It is exceedingly difficult, and probably not even possible, to predict the complex interplay of social, economic, and demographic factors and how they will alter land cover in future.”* Zusätzlich zu diesen anthropogenen Treibern von Landbedeckungsänderungen können durch erhöhte Kohlendioxidkonzentration verursachte Düngeeffekte den Ist-Zustand der Vegetationsverteilung beeinflussen.

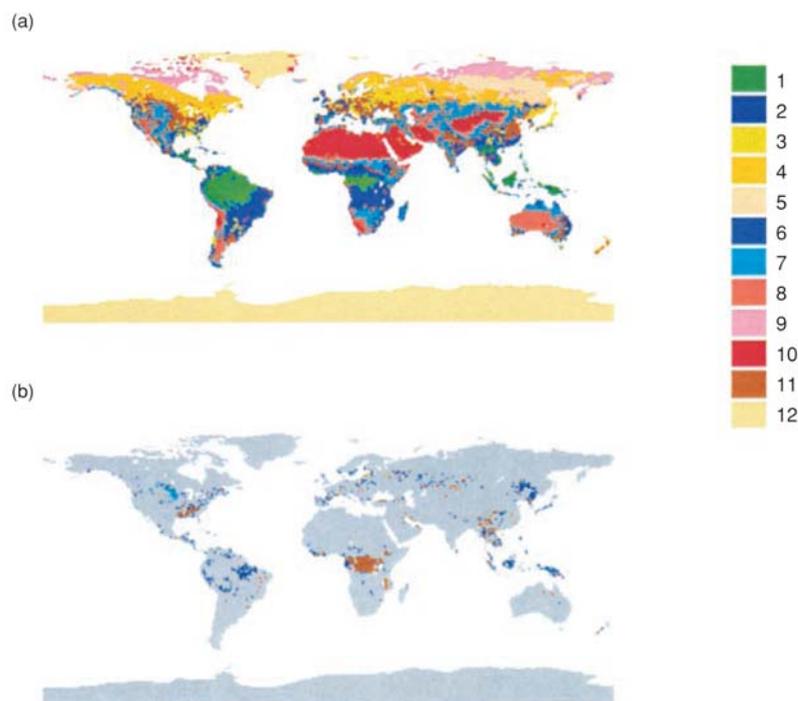


Abb. 10: Land cover distributions for “control“ (deFries and Townsend 1994) and possible 2050 scenario at 1 by 1 ° resolution. Grey in (b) indicates no difference in land cover from “control“. Land-cover codes are: 1=broadleaf evergreen forest and woodland, 2= broadleaf deciduous forest and woodland, 3=mixed forest and woodland, 4=coniferous forest and woodland, 5=high latitude deciduous forest, 6=wooded grassland, 8=shrubs and bare ground, 9=tundra, 10=bare ground, 11=cropland, and 12=ice. Quelle: deFries et al., 2002.

Anthropogen induzierte, historische Landbedeckungsänderungen dürften die Temperaturen in landwirtschaftlich genutzten Gebieten der mittleren Breiten um 1-2°C gesenkt haben (Feddema et al., 2005). Simulationen von Entwaldung der Tropen und zukünftigen anthropogen Einfluss auf die Landbedeckung sagen hingegen eine Erwärmung um 1-2°C vorher (Feddema et al., 2005). Die meisten Studien verwendeten jedoch ungekoppelte Klimamodelle und folgten nicht den in IPCC SRES (*Special Report on Emission Scenarios*; Nakićenović & Swart, 2000) vorgeschlagenen Richtlinien. Der Einbezug von zukünftigen Landbedeckungsänderungen (verwendet wurden Modelle IMAGE 2.2 – *Integrated Model to Assess the Global Environment*, und DOE-PCM – *Department of Energy Parallel Climate Model*) in zwei IPCC SRES Szenarien (A2 und B1) führte zu signifikant unterschiedlichen Klimasimulationen für das Jahr 2100 (Feddema et al., 2005). So führt zum Beispiel die Umwandlung des Regenwalds zu Ackerland im Amazonasgebiet (Abb. 11) im Szenario A2 für das Jahr 2100 zu einer Temperaturerhöhung um über 2°C, welche wiederum Einfluss auf die Hadley- und Monsun-Zirkulation haben wird. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass Entscheidungen über zukünftige Landnutzungen grossen Einfluss auf das regionale und globale Klima haben können (Feddema et al., 2005; siehe auch Pitman et al., 1999; Pielke et al., 2002).

(Anm. Szenario A2: Strong regionalisation and emphasis on material wealth. Szenario B1: Complete globalisation and emphasis on sustainability and equity.)

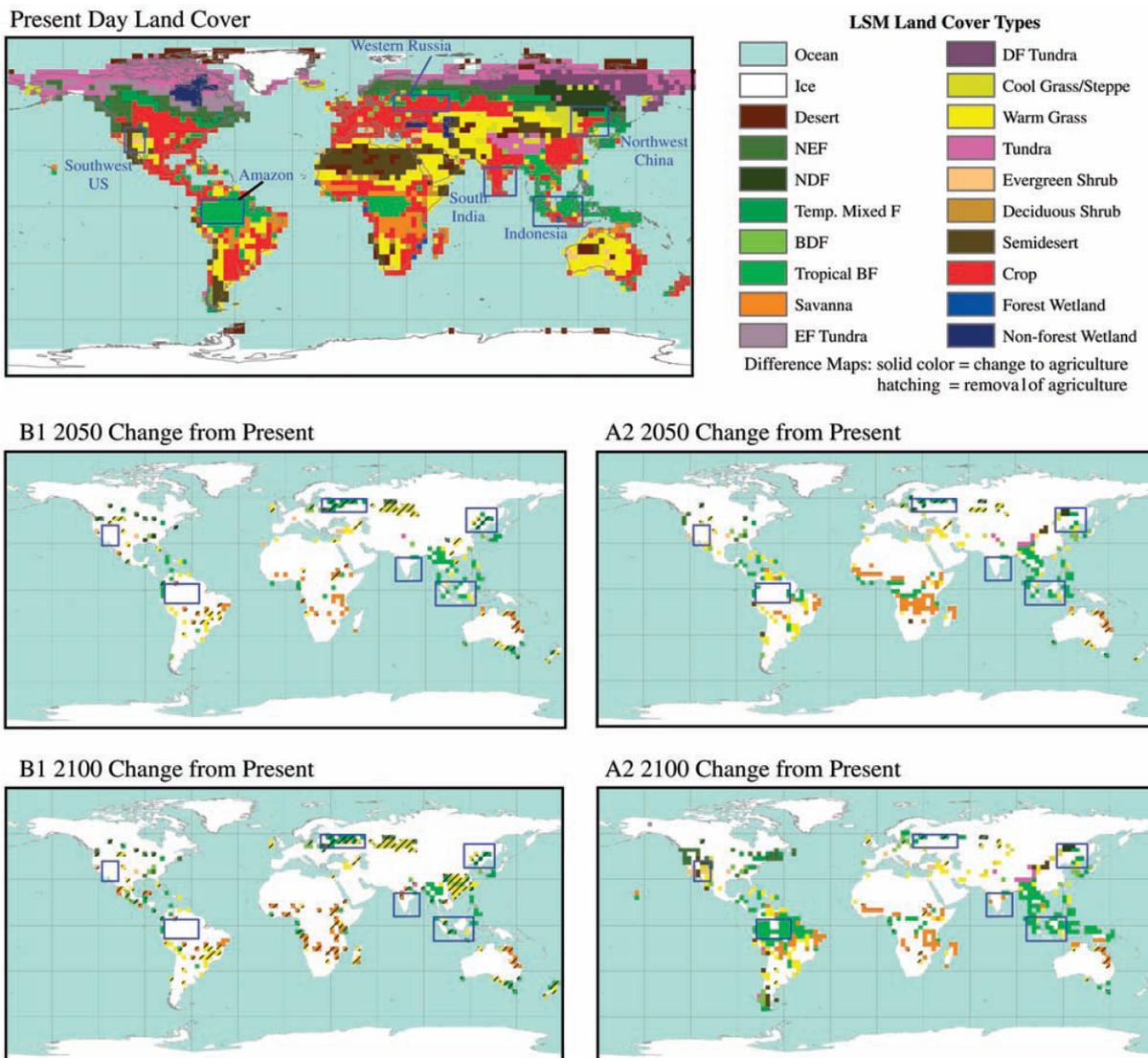


Abb. 11: Representation of present-day land cover and land-cover change for each of the scenarios. B, broadleaf; N, needleleaf; E, evergreen; D, deciduous; and F, forest. Quelle: Feddema et al., 2005.

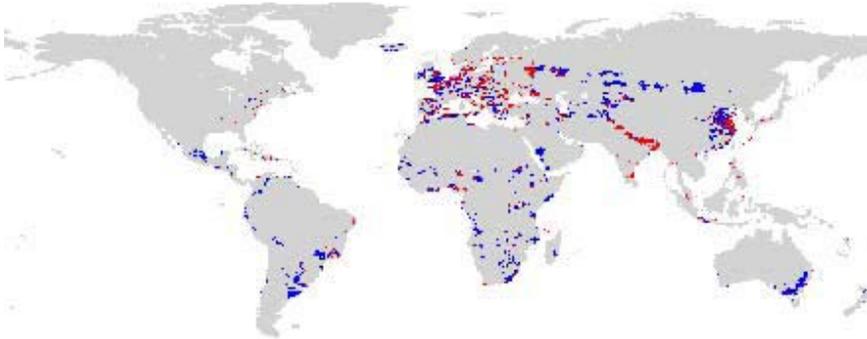
Drei anthropogen induzierte Faktoren beeinflussten das Klima des letzten Jahrhunderts massgeblich: die Konzentration an Treibhausgasen, Landnutzung und die Konzentration von Aerosolen. Dennoch wurden zu wenig Anstrengungen unternommen, zukünftigen Landnutzung zu projizieren und ihre Rolle in zukünftigen Klimawandel zu bewerten (Lampsey et al., 2005). Die meisten Klimamodelle, die Landoberfläche als Komponente enthalten, simulieren die potentielle Vegetation. Menschlich bedingte Veränderungen der Vegetation durch Urbanisierung, Abholzung und Landwirtschaft werden in die

Simulation zukünftigen Klimas grösstenteils nicht miteinbezogen (Lamprey et al., 2005). Die Autoren untersuchten in ihrer Studie den Beitrag von Landbedeckungsänderungen zum Klimawandel auf globaler Ebene. Lamprey et al. (2005) verwendeten hierzu das GENESIS (*Global Environmental and Ecological Simulations of Interactive Systems*) Klimamodel und ein interaktives BIOME Vegetationsmodell. Die Daten über das Ausmass anthropogener Veränderungen der Landoberfläche wurden für 1700 aus der HYDE (*History Database of the Global Environment*) Datenbank und für 2100 aus IMAGE2.2 (*Integrated Model to Assess the Global Environment*) gewonnen (Abb. 12). Die Projektion basiert auf das Szenario A1b des IPCC SRES.

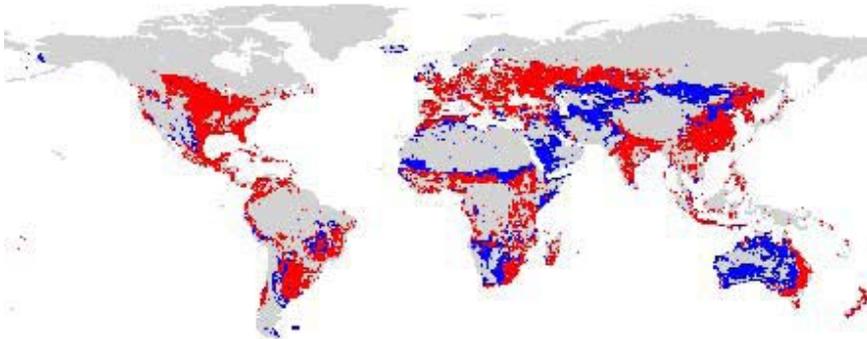
Die prognostizierten Landbedeckungsänderungen (Abb. 13) verursachten in einigen Regionen Erwärmung (aber geringer als die durch CO₂ verursachte Erwärmung), in anderen hingegen Abkühlung. Die Erwärmung, die bis 4 K beträgt, wird eher von physiologischen Faktoren, welche das Gleichgewicht latenter zu sensibler Wärme steuern, als durch morphologische Faktoren bestimmt.

(Anm. Szenario A1: Complete globalisation and emphasis on material wealth.)

(a) HYDE data, agricultural land cover, 1700



(b) HYDE data, agricultural land cover, 1990



(c) IMAGE data, agricultural land cover, 2100

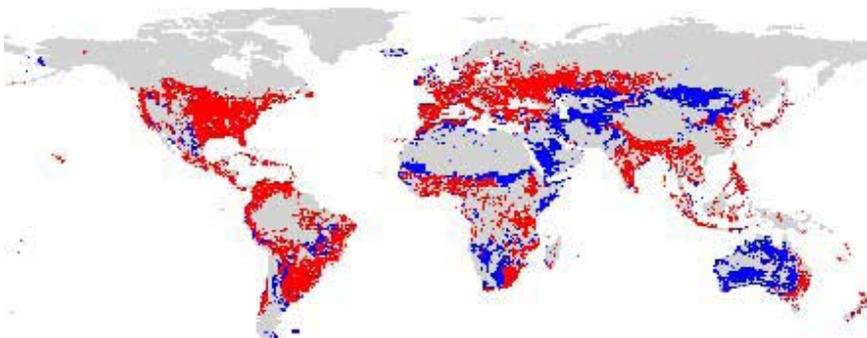


Abb. 12: HYDE data and IMAGE model projection of land areas affected by human activity. RED=Cultivated land, BLUE= Pasture/land used for grazing. Quelle: Lamptey et al., 2005.

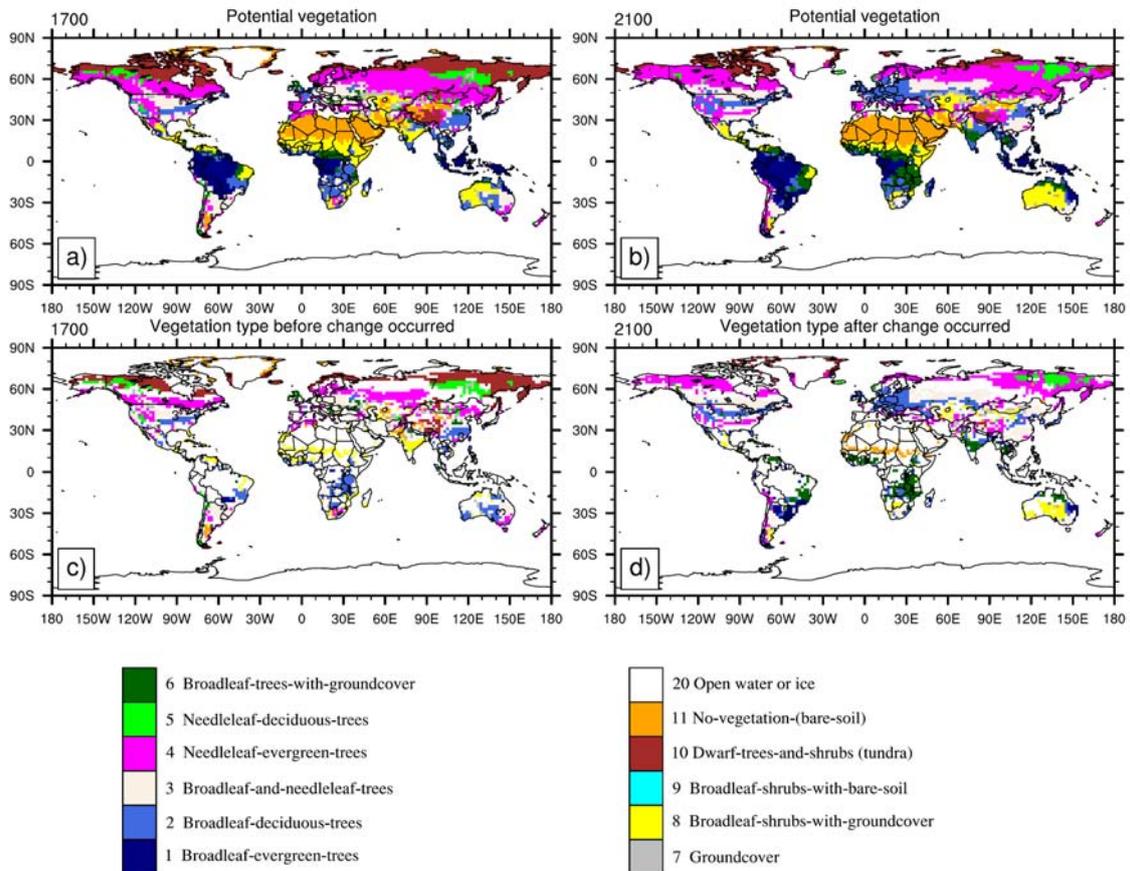


Abb. 13: (a) The 1700 global potential vegetation distribution, (b) 2100 global potential vegetation distribution, (c) potential vegetation type in 1700 before change to a different vegetation type in 2100, and (d) potential vegetation type in 2100 after change from a different vegetation type in 1700. Only regions where the vegetation type changed are indicated in c and d. Quelle: Lamptey et al., 2005.

Landbedeckungsprognosen von IMAGE zeigen, dass zukünftige Landnutzungsänderungen hauptsächlich in den Tropen stattfinden werden (Voldoire, 2006; Abb. 14). Um zukünftige Landnutzungsänderungen zu simulieren, berücksichtigt das IMAGE-Model Klimawandel und CO₂-Anstieg im Laufe des 21. Jahrhunderts; die Veränderungen des Klimas, die durch Landbedeckungsveränderung verursacht werden, sind jedoch nicht miteinbezogen (Voldoire, 2006).

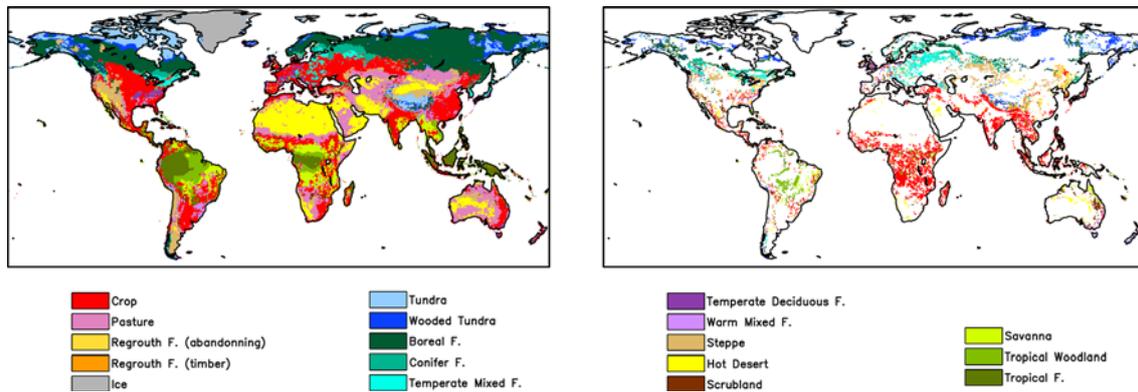


Abb. 14: Land cover map simulated by IMAGE for 1980 (left) and changes operated on the 2050 land cover map as compared to 1980 (right). Quelle: Voltaire, 2006.

Zwei Hauptfaktoren beeinflussen die zukünftige Vegetationsverteilung: Klimawandel und Landnutzungsänderungen. Diese beiden Aspekte wurden jedoch zumeist getrennt voneinander untersucht – Landnutzungsdynamiken werden in *state-of-the-art* dynamischen Vegetationsmodellen noch immer nicht inkludiert (Voldoire et al., 2007). Studien zeigen auch, dass Landnutzungsänderungen – zumindest regional – einen grossen Einfluss auf das Klima ausüben können (Voldoire et al., 2007). Zusätzlich können zukünftige Landnutzungsänderungen – in Abhängigkeit der geografischen Lage – den resultierenden Klimawandel verstärken oder abschwächen (deFries et al., 2002; Feddema, 2005b; Voldoire, 2006).

Voldoire et al. (2007) koppelten ein *General Circulation Model* (GCM) mit einem *Integrated Assessment Model* (IMAGE2.2), um Landnutzungsdynamiken in Klimasimulationen zu integrieren. Das Ozean-Atmosphäre GCM (CNRM-CM3) liefert Daten über Temperatur und Niederschlag, IMAGE über Treibhausgaskonzentration, Sulfataerosole und Landbedeckung. Die Autoren verwendeten ein Szenario, in dem Landnutzungsänderungen hauptsächlich durch Wirtschaft, Demografie und Landwirtschaftspraktiken verursacht werden (SRES A2) und Klimawandel einen sekundären Einfluss ausübt (Abb. 15).

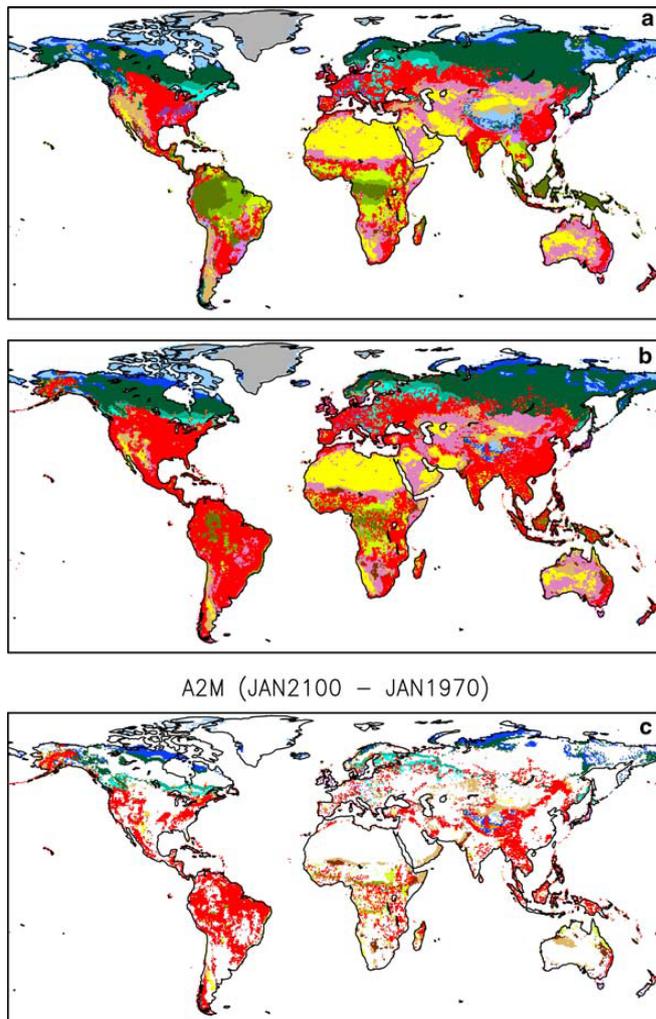


Abb. 15: Land cover obtained in the A2-IM-CM3 simulation for 1970 (top), 2100 (middle), and for 2100 but only for grid points where there have been a change (bottom); Quelle: Voltaire et al., 2007; (Anm.: Legende fehlt im zitierten Paper)

1.3 Status Quo und Trends der globalen Landnutzung

Unter *Landnutzung*, welche eng an Landbedeckung verknüpft ist, wird die Art und Weise wie als auch der Zweck der anthropogenen Landnutzung und der Nutzung der vorhandenen Ressourcen verstanden, z.B. Ackerbau, Bergbau oder Holzschlag (Meyer, 1995).

Unter **Landnutzungsänderungen** (Abb. 16) versteht man das menschliche bedingte Ersetzen eines Landnutzungstyps durch einen anderen, z.B. die Umwandlung von Wald in Kulturland, als auch Änderungen der Managementpraktiken innerhalb eines Landnutzungstyps, z.B. die Intensivierung von Landwirtschaftspraktiken. Landnutzungsänderungen und der damit verbundene Verlust und die Fragmentierung von Habitaten sind bedeutende Treiber von vergangenen und zukünftigen Ökosystemveränderungen (Fischlin et al., 2007). Studien über die Auswirkungen von Klimawandel, welche Landnutzungsänderungen nicht berücksichtigen, können demzufolge zu mangelhaften Abschätzungen von Ökosystemantworten kommen (Fischlin et al., 2007).

In anthropogen dominierten Gebieten wird zumindest bis 2050 Landnutzungsänderung der dominierende Treiber von Biodiversitätsverlust sein (Fischlin et al., 2007). Globale Studien über Landnutzungsänderungen prognostizieren eine signifikante Abnahme an nativer Vegetation (zumeist Wald) in nicht-industrialisierten Ländern und ariden Gebieten auf Grund der Expansion von Landwirtschaft oder Urbanisation durch Bevölkerungswachstum, besonders in Afrika, Süd-Amerika und Süd-Asien (Hassan et al., 2005). Biome der höchsten Breitengrade hingegen, die bis jetzt noch nicht zu landwirtschaftlich genutzte Flächen umgewandelt wurden, werden gemäss Duraiappah et al. (2005) in der Zukunft relativ unverändert bleiben.

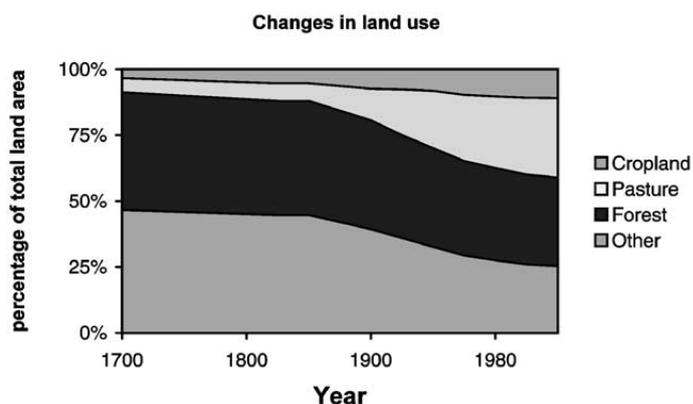


Abb. 16: Estimated changes in land use from 1700 to 1995, Quelle: Goldewijk und Battjes, 1997.

Da Landnutzungsänderungen signifikanten Einfluss auf das regionale und globale Klima nehmen (Pielke et al., 2002, Pitman et al., 1999) und sich auf eine nachhaltige Zukunft auswirken, ist die Abschätzung von Landnutzungsänderungen und deren möglichen Konsequenzen von grosser Bedeutung. Dennoch bleiben trotz der Fortschritte, biophysikalische und sozio-ökonomische Treiber von Landnutzungsänderungen in Modellberechnungen zu integrieren (Veldkamp & Verburg, 2004), Vorhersagen über zukünftige Landnutzung schwierig und mit Unsicherheiten behaftet – Bedarf nach weiterer, multidisziplinärer Forschung besteht.

Besonders landwirtschaftliche Aktivitäten sind für Landnutzungsänderungen verantwortlich. Beinahe 40% der eisfreien Landoberfläche wird gemäss Foley et al. (2005) für landwirtschaftliche Zwecke genutzt.

Durch die Kombination nationaler und subnationaler Statistiken und Datenbestände zur landwirtschaftlichen Flächennutzung mit satellitenbezogenen Daten zur Landbedeckung konnten Ramankutty et al (2008) eine globale Kartierung (Auflösung 10 km) von Kulturflächen und Weideland im Jahr 2000 erstellen (Abb. 17). Diese umfassende Status-quo-Analyse ergibt, dass um das Jahr 2000 Kulturflächen 15.0 Millionen km² betragen (dies entspricht etwa 12% der globalen, eisfreien Landfläche). 28.0 Millionen km² (dies sind etwa 22% der globalen, eisfreien Landfläche) wurde als Weideland genutzt. Der Mensch nutzt somit etwa 34% der globalen Landfläche für landwirtschaftliche Zwecke.

Die globale Verteilung von Kulturflächen und Weideland für das Jahr 2000 (Tab. 6) ergibt folgendes Bild:

Der weltweit grösste Prozentanteil von *Kulturflächen* ist in Süd-Asien (39.4 %), Europa (26.8 %), Südost-Asien (26.3 %) und in den USA östlich des Mississippis (24.0 %) zu finden, *Weideland* ist in Argentinien, Uruguay & Chile (33.0 %), den *Pacific Developed countries* (32.7 %), China (32.7 %), Mexiko & Zentral-Amerika (31.4 %), den USA westlich des Mississippi (31.4 %) und dem tropischen Afrika (30.1 %) flächenmässig am stärksten vertreten.

Der geringste Prozentanteil von *Ackerland* ist in Kanada (4.6 %), den *Pacific Developed countries* (4.5 %), und dem nördlichen Süd-Amerika (5.4 %) gelegen, der

geringste Anteil an *Weideland* in Südost-Asien (1.7 %), Kanada (2.3 %) und den USA östlich des Mississippi (5.0 %).

Tab. 6: Cropland and Pasture Areas by Different Regions of the World. Quelle: Ramankutty et al., 2008.

<i>Region</i>	<i>Land Area, million km²</i>	<i>Cropland, million km²</i>	<i>Pasture, million km²</i>	<i>Cropland, % of Land Area</i>	<i>Pasture, % of Land Area</i>
Canada	8.88	0.41	0.2	4.6	2.3
United States, east of Mississippi	2.2	0.53	0.11	24	5
United States, west of Mississippi	6.87	1.26	2.16	18.3	31.4
Mexico and Central America	2.63	0.5	0.83	19.1	31.4
South America, northern Portions	13.85	0.74	3.15	5.4	22.7
Argentina, Uruguay, and Chile	3.63	0.37	1.2	10.2	33
Tropical Africa	24.18	1.94	7.28	8	30.1
North Africa and Middle East	11.42	0.84	1.45	7.4	12.7
Europe	4.67	1.25	0.67	26.8	14.4
Former Soviet Union	21.41	2.07	2.73	9.7	12.8
China	10.83	1.4	3.54	12.9	32.7
South Asia	5.64	2.22	0.49	39.4	8.8
Southeast Asia	3.7	0.97	0.06	26.3	1.7
Pacific developed countries	8.99	0.4	2.94	4.5	32.7

Ramankutty et al. (2008) untersuchten ebenso, inwieweit landwirtschaftliche Nutzung die potentiell natürliche Vegetation beeinflusst hat (Tab. 7). Verschneidet man die aktuellen Karten zur Verteilung von Landwirtschaftsflächen mit den von Ramankutty & Foley (1999) entwickelten Karten der potentiell natürlichen Vegetation, lautet das Resultat, dass etwa 30% der temperaten laubwerfenden Wälder zu Kulturflächen und 50% der Grasländer zu Weiden umgewandelt wurden (mit regionalen Schwankungen).

Tab. 7: Cropland and Pasture Areas by Different Biomes of the World. Quelle: Ramankutty et al., 2008.

<i>Biome</i>	<i>Land Area, million km²</i>	<i>Cropland, million km²</i>	<i>Pasture, million km²</i>	<i>Cropland, % of Biome Area</i>	<i>Pasture, % of Biome Area</i>
Tropical evergreen forest	16.77	1.81	1.48	10.8	8.8
Tropical deciduous forest	5.86	1.58	1.43	27	24.4
Temperate broadleaf evergreen forest	1.13	0.27	0.23	24.2	20.2
Temperate needleleaf evergreen forest	3.61	0.72	0.37	20	10.3
Temperate deciduous forest	4.84	1.46	0.82	30.1	16.9
Boreal evergreen forest	5.98	0.09	0.1	1.5	1.7
Boreal deciduous forest	2.22	0.04	0.05	1.7	2.1
Evergreen/deciduous mixed forest	14.96	1.16	0.71	7.7	4.8

Savanna	19.18	3.02	6.49	15.7	33.8
Grassland	14.29	2.74	7.25	19.2	50.7
Dense shrubland	5.99	1.07	1.87	17.9	31.2
Open shrubland	11.94	0.87	5.15	7.3	43.1
Tundra	7.01	0.04	0.92	0.6	13.1
Desert	15.3	4.13	1.22	0.9	7.9
Polar desert/rock/ice	1.21	0	0.02	0.1	1.7

Ramankutty & Foley (1998) analysierten schon für das Jahr 1992 die globale Verteilung von Kulturflächen. Ein direkter Vergleich dieser zwei Studien, um Veränderungen über diesen Zeitraum zu entdecken, ist jedoch nicht möglich, da Methodik und Quellen sich änderten. Eine Neuerung in der Methodik ist z.B. die Verwendung und die Verschneidung zweier satellitenbezogener Datensets, von MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) und GLC2000 (*Global Land Cover 2000*).

Obwohl die Verschneidung mehrerer Remote sensing-Datensets zu genaueren Ergebnissen führen kann, sind die Informationen dennoch limitiert: die erhaltenen Daten geben Auskunft zur Landbedeckung bzw. zur obersten Vegetationsschicht, sie können aber nichts über die jeweilige Nutzung „unter“ dieser obersten Vegetationsdecke aussagen. Auch die Zensusdaten sind mit Unsicherheiten behaftet. Da eine statistische Datenerhebung in den meisten Industriestaaten alle 5-10 Jahre erfolgt, waren Datensätze für exakt das Jahr 2000 nicht immer vorhanden. Die Autoren griffen daher auf Daten zurück, die in den Jahren 1998-2002 von den einzelnen Staaten erhoben wurden. Auch die Qualität und Genauigkeit der Zensusdaten ist unterschiedlich – vor allem der afrikanische Kontinent und die ehemalige Sowjetunion sind unterrepräsentiert. In manchen Fällen stimmten die nationalen Daten nicht mit Daten der FAOSTAT überein. So ist z. B. die von Ramankutty et al. (2008) angegebene globale Fläche für Weideland von 28.0 Millionen km² um 18 % geringer als die Abschätzung der FAOSTAT, welche 34.4 Millionen km² beträgt. Die grössten Unterschiede sind in Saudi-Arabien, Australien, China und der Mongolei zu finden und sind in der unterschiedlichen Definition von „Weideland“ begründet – ein Problem, welches von der FAOSTAT auch angesprochen wird. Neben unterschiedlichen Definitionen von Kulturflächen und Weideland stellt auch die multifunktionale Nutzung

der Flächen, die in vorliegender Studie nicht berücksichtigt werden konnte, ein weiteres Problem in der Datenerhebung dar: vor allem in Afrika und Asien werden die Ackerflächen nach der Ernte für Beweidung genutzt.

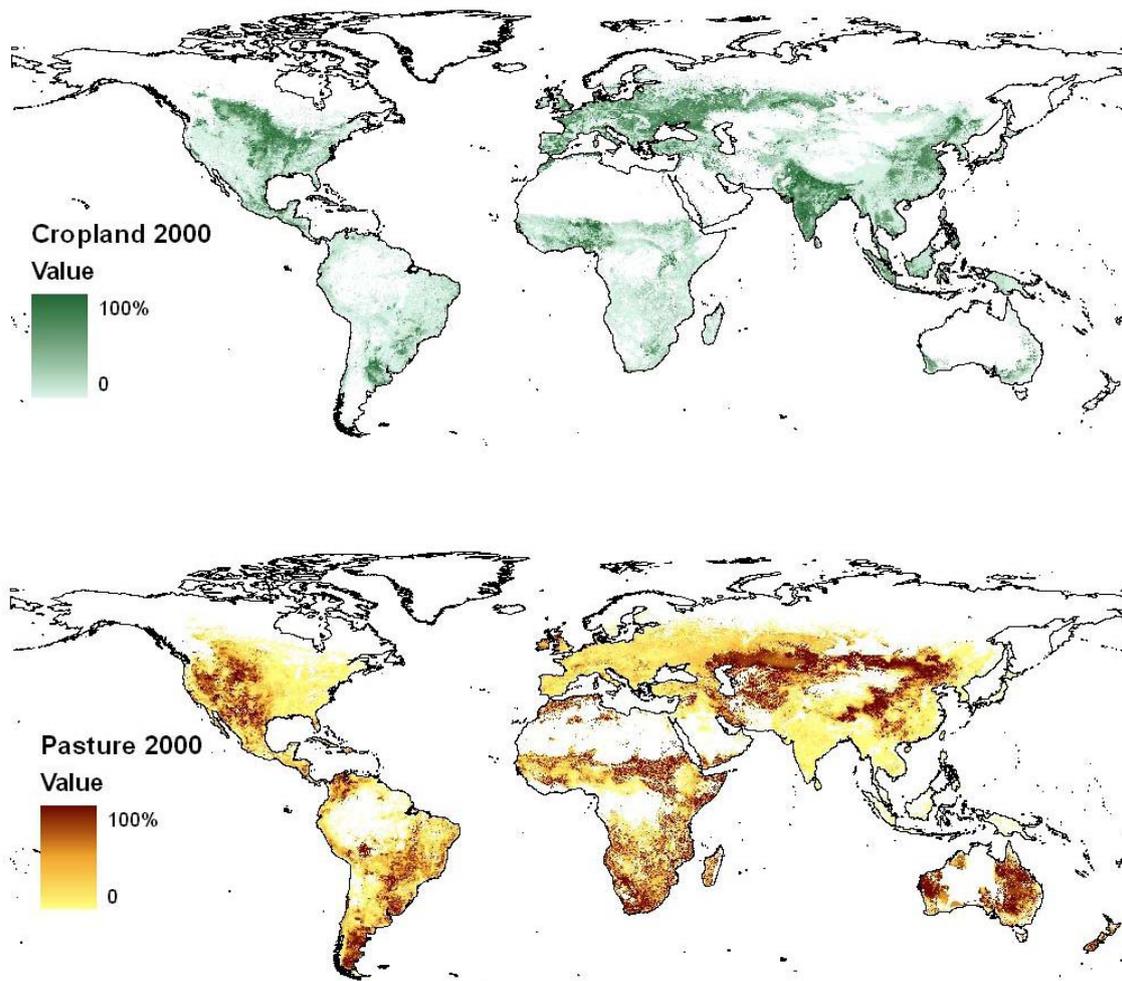


Abb. 17: Final estimates of croplands and pastures from this study. This is the final result obtained by calibrating the combined land cover data set against the agricultural inventory data (Step 1), using 1000 bootstrap estimates for the parameters, and then further adjusting the predictions to match the inventory data at the administrative unit level (Step 2). Quelle: Ramankutty et al., 2008.

Landwirtschaftsflächen bedecken etwa 40-50 % der Landoberfläche (Smith et al., 2007).

Im Jahr 2002 betragen die landwirtschaftlich genutzten Flächen 5023 Mha (FAOSTAT, 2006). 69 % oder 3488 Mha wurde als Weideland genutzt, 28 % oder 1405 Mha als Ackerland. Während der letzten vier Jahrzehnte wuchs die landwirtschaftlich genutzte Fläche – vor allem durch den von Bevölkerungswachstum verursachten ansteigenden Nahrungsmittelbedarf – um beinahe 500 Mha. Während dieses Zeitraums wurden durchschnittlich 6 Mha Wald und 7 Mha anderer Landnutzungsformen in Ackerfläche umgewandelt, ein Wandel der zum grössten Teil in den Entwicklungsländern stattfand (FAOSTAT, 2006). Dieser Trend wird auch in Zukunft anhalten (Huang et al., 2002; Trewavas, 2002; Fedoroff und Cohen, 1999; Green et al., 2005). Rosegrant et al. (2001) prognostizieren die Umwandlung weiterer 500 Mha in Kulturland bis 2020, vor allem in Lateinamerika und Afrika südlich der Sahara.

Technologischer Fortschritt ermöglicht es, die pro Kopf Nahrungsverfügbarkeit trotz sinkender pro Kopf Landwirtschaftsfläche zu steigern (FAOSTAT, 2006). Der Anteil an tierischen Produkten in der Ernährung stieg in Entwicklungsländern kontinuierlich und Rosegrant et al. (2001) prognostizieren einen weiteren Anstieg im globalen Fleischbedarf bis 2020. Dieser steigende Bedarf kann Landnutzungsänderungen, wie etwa die Umwandlung von Waldland in Grasland, zu Folge haben (Smith et al., 2007).

Landwirtschaft trägt 4 % zum globalen BIP (World Bank) bei und ist ein wichtiger Sektor der Weltwirtschaft. Der **Wasserverbrauch** ist aber höher als in allen anderen Sektoren. In Niedriglohnländern werden 87 % des entnommenen Wassers für landwirtschaftliche Zwecke genutzt, in Ländern mittleren Lohnniveaus 74 % und in Ländern mit hohem Lohnniveau 30 % (World Bank, 2003). Zurzeit existieren 276 Mha bewässerte Landwirtschaftsflächen (FAOSTAT, 2006), was einem fünffachen Anstieg seit Beginn des 19. Jahrhunderts entspricht. Mit steigendem Bedarf an Bewässerung wird Wassermanagement zu einem wichtigen Thema. Smith et al. (2007) weisen auf die Notwendigkeit einer besseren Kohärenz zwischen den einzelnen Richtlinien hin. (Regie: zusätzliche Informationen zu Wassermanagement im Landwirtschaftssektor siehe <http://www.iwmi.cgiar.org/>)

Trends

Global gesehen sind etwa 3.6 Milliarden Hektar (ungefähr 27 % der Landfläche) zu trocken für niederschlagsbewässerte Landwirtschaft. Berücksichtigt man die Wasserverfügbarkeit, sind nur etwa 1.8 % dieser trockenen Zonen dafür geeignet, Getreideanbau mit Bewässerung zu betreiben (Fischer et al., 2002). Durch den prognostizierten Rückgang der Wasserverfügbarkeit in manchen Regionen könnten diese Gebiete (wie etwa das Mittelmeergebiet, Zentralamerika und die subtropischen Regionen Afrikas und Australiens für niederschlagsbewässerte Landwirtschaft zu trocken werden (Easterling et al., 2007). Zusätzlich zu klimabedingten, regionalen Problemen der Wasserverfügbarkeit weisen Scanlon et al. (2007) darauf hin, dass die vollen Auswirkungen von vergangenen Landnutzungsänderungen auf den Wasserhaushalt in vielen Gebieten auf Grund zeitverzögerter Ökosystemantworten (z.B. Grundwassererneuerung, Wasserqualität) noch nicht realisiert wurden.

Die jährliche landwirtschaftliche Produktion wird gemäss Abschätzungen der FAO (FAO, 2005a) in den nächsten 30 Jahren von 2.2 % auf 1.6 % (von 2000 bis 2015), auf 1.3 % (2015 bis 2030) bis auf 0.8 % (2030 bis 2050) sinken. Dies bedeutet dennoch einen Anstieg der globalen Getreideproduktion um 55 % bis 2030 und um 80 % bis 2050 (verglichen mit 1999 auf 2001). Dafür müssten weitere 185 Millionen Hektar niederschlagsbewässerter (+ 19 %) und 60 Millionen Hektar bewässerter Landfläche (+ 30 %) für den Anbau von Getreide herangezogen werden. Im Wesentlichen wird die Expansion von Landwirtschaftsflächen in Entwicklungsländern, meist in Afrika südlich der Sahara und Lateinamerika, stattfinden, was zu einem direkten *Trade-off* mit Ökosystemdienstleistungen führen kann (Cassman et al., 2003). Zusätzlich zu expandierender Landnutzung wird ein Anstieg im Ernteertrag von 2.7 Tonnen pro Hektar auf 3.8 Tonnen pro Hektar in 2050 erwartet (FAO, 2005a). Trotz dieser Verbesserungen werden Probleme der Nahrungsmittelsicherheit auf lokalem und nationalem Level ein Thema bleiben (Easterling et al., 2007).

Im Folgenden wird auf zwei von Landnutzungsänderungen stark betroffene Ökosystemtypen, Grasland und Wald, näher eingegangen.

Das natürliche Vorkommen von **Graslandökosystemen** hängt mit klimatischen Faktoren zusammen. Grasland findet sich, wo einerseits die jährliche Niederschlagsmenge mit ca. 250 mm größer ist als in einer Wüste, aber zu niedrig für ein Waldökosystem, oder wo durch andere Umwelteinflüsse (Feuer, Fröste) das Baumwachstum unterdrückt wird (u.a. Suttie et al., 2005). Zu den Graslandökosystemen im weiteren Sinne zählen die tropischen Savannen, die Langgras- und Kurzgrassteppen der subtropischen und gemäßigten Zonen sowie die subpolare Tundra.

Es gibt verschiedene Abschätzungen über die heutigen Graslandflächen, meist basierend auf Fernerkundungsdaten. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Definitionen schwanken diese Abschätzungen zwischen 40.5 und 55.5 Mio km² (White et al., 2000). Neuere Abschätzungen (basierend auf AVHRR – *Advanced Very High Resolution Radiometer*) liegen bei 52.5 Millionen km² oder 40 % der Kontinentalflächen, die von Graslandökosystemen bedeckt sind (Abb. 18). Die größten Flächen finden sich in Australien, der russischen Föderation, China, den USA und Kanada. Savannen haben – je nach Niederschlagsmenge – einen hohen Baumbestand (Feuchtsavannenwälder) und können nur mit Vorbehalt zu den Graslandökosystemen gezählt werden. Die meisten dieser Flächen werden bewirtschaftet, vorwiegend als Weideland.

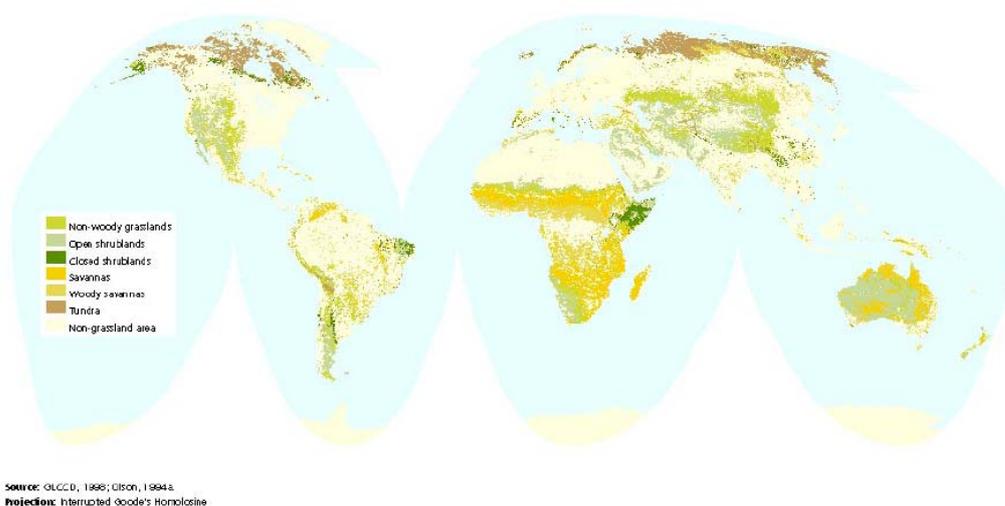


Abb. 18: Die aktuelle Verbreitung von Grasland (Quelle: White et al., 2000).

Durch die menschliche Nutzung sind einige Gebiete dieser natürlichen Grasländer verschwunden (durch Ackernutzung, Urbanisierung), aber auch neue entstanden, vor allem durch Abholzung mit anschließender Beweidung oder (wie häufig in Mitteleuropa anzutreffen) mit anschließender Mähnutzung (Tab. 8, White et al. 2000).

Tab. 8: Konversion von Graslandgebieten in der Vergangenheit. Quelle: White et al., 2000.

Conversion of Historical Grassland Areas^a

Major Habitat Type	PAGE Grassland (percent)	Agriculture (percent)	Urban (percent)	Other ^b (percent)
Tropical and Subtropical Grasslands, Savannas, and Shrublands	71.3	15.4	0.8	11.8
Temperate Grasslands, Savannas, and Shrublands	43.4	41.4	6.1	7.4
Flooded Grasslands and Savannas	48.2	21.7	2.9	24.4
Montane Grasslands and Shrublands	70.6	7.7	1.4	18.7
Mediterranean Shrublands	48.0	11.9	4.4	34.9
Tundra	71.2	0.1	0.1	23.7

Sources: PAGE calculations based on GLCCD 1998; Olson 1994a and b; WWF-US 1999.

Notes:

^aHistorical grassland areas refer to the Major Habitat Types (MHTs) as defined by the World Wildlife Fund (WWF) which represent the potential extent of grasslands before major modification by humans.

^bThe "Other" category represents other IGBP/PAGE land cover classifications such as deciduous broadleaf forests or mixed forests.

Die von der World Conservation Union 2003 veröffentlichte Liste der unter Schutz stehenden Gebiete führt die folgenden Graslandbiome auf (Tab. 9):

Tab. 9: Grasland-Schutzgebiete. (Quelle: Chape et al., 2003)

Biom	Fläche (km ²)	Geschützt (%)
Tundra	22'017'390	12
Tropische Grassavannen	4'264'832	15
Gemässigtetes Grasland	8'976'591	5

Die Hauptnutzung für Grasland ist global gesehen die Weidenutzung, die Wiesennutzung ist eher auf Mittel-Europa beschränkt. Daher ist die Verbreitung von Grasland eng mit den größten Tierdichten, vor allem von Wiederkäuern (Rinder, Schafe, Kamele, etc.) gekoppelt (Abb. 19).

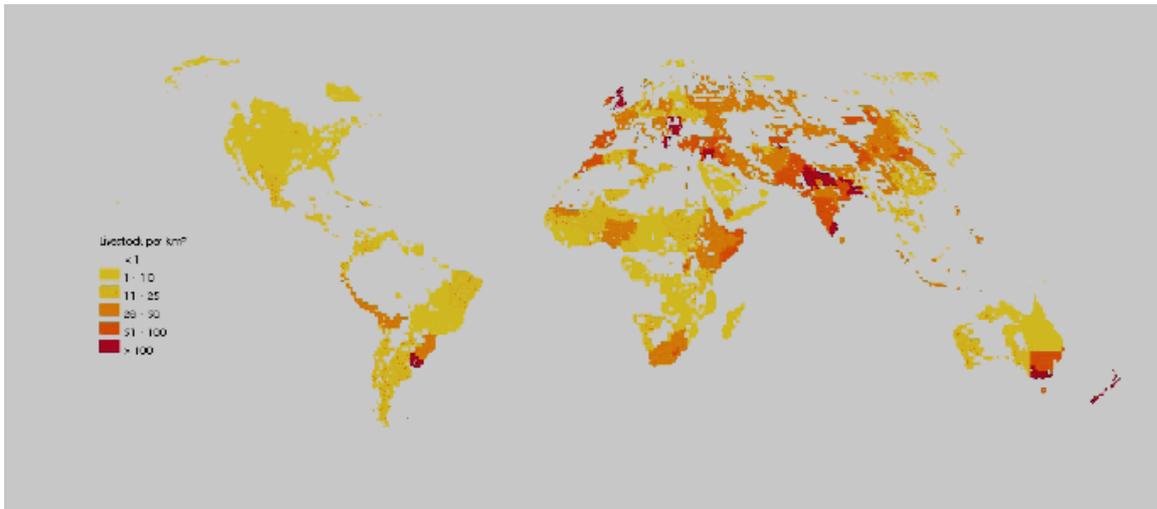


Abb. 19: Nutztierdichte global.

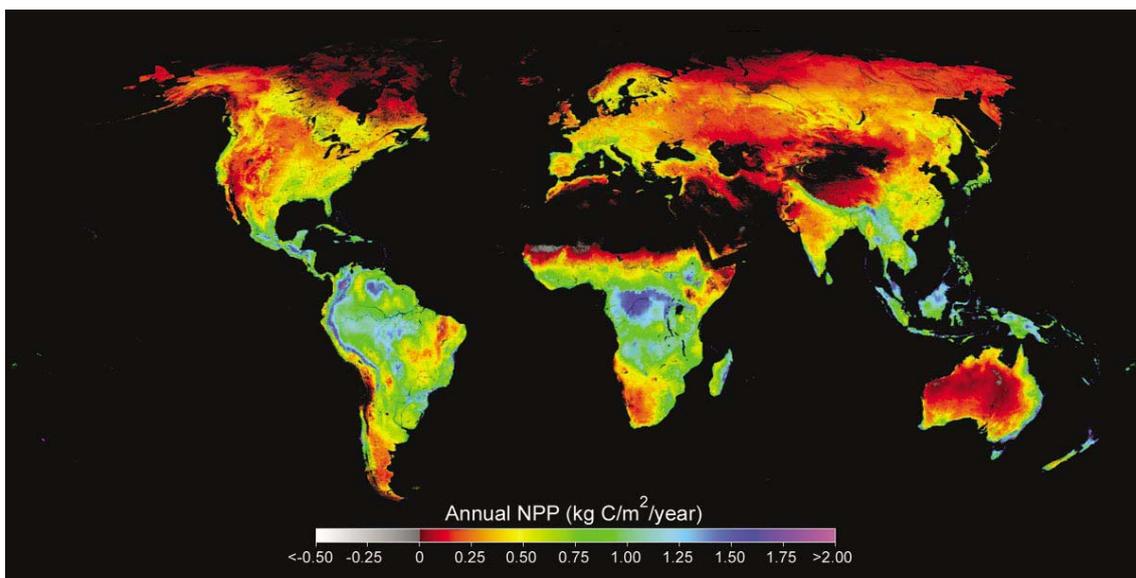


Abb. 20: Global terrestrial net primary production (NPP) over 110 million square kilometers for 2002, computed from MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) data. Quelle: Running et al., 2004.

Auf Grund technologischer Limitierung war bis vor kurzem ein kontinuierliches Monitoring der globalen Produktivität der Vegetation nicht möglich. Die tägliche Bruttoprimärproduktion und die jährliche Nettoproduktion kann nun mittels satellitenbezogener Daten berechnet werden (Running et al., 2004) – so liegt etwa die Produktivität (NPP=Netto-Primärproduktion) von Grasland eher im unteren Bereich aller Ökosystemtypen (Abb. 20).

Wälder zählen zu den produktivsten terrestrischen Ökosystemen – Tab. 10 gibt einen Überblick über gemessene Primärproduktionen in verschiedenen Waldökosystemen (gC/m²). Wälder bedecken 3952 Millionen Hektar – dies entspricht 30 % der globalen Landfläche (Abb. 21), der Anteil an Primärwald beträgt 36.4 % (Abb. 22). Etwa 42 % aller Wälder sind in den Tropen, 25 % in der gemässigten und 33 % in der borealen Zone (Fischlin et al., 2007). Mehr als die Hälfte aller Waldflächen liegen in den Nationen Russland, Brasilien, Kanada, USA und China (FAO, 2006).

Tab. 10: Mean carbon fluxes, NPP components, sum of closure terms [$\Sigma(\delta\text{Flux}) = |\delta\text{GPP}| + |\delta\text{NPP}| + |\delta R_e| + |\delta R_a| + |\delta R_h|$] and their standard deviation for the different biomes. The SD refer to the variability surrounding the mean values. Quelle: Luysaert et al., 2007.

	Boreal humid	Boreal semiarid		Temperate humid		Temperate semiarid	Mediterranean warm	Tropical humid
	Evergreen	Evergreen	Deciduous	Evergreen	Deciduous	Evergreen	Evergreen	Evergreen
GPP	973 ± 83	773 ± 35	1201 ± 23	1762 ± 56	1375 ± 56	1228 ± 286	1478 ± 136	3551 ± 160
NPP	271 ± 17	334 ± 55	539 ± 73	783 ± 45	738 ± 55	354 ± 33	801 ± NA	864 ± 96
fNPP	73 ± 9	47 ± 5	109 ± 11	159 ± 19	235 ± 13	56 ± 11	134 ± NA	316 ± 32
wNPP	205 ± 28	110 ± 20	304 ± 36	280 ± 29	329 ± 47	117 ± 20	389 ± NA	212 ± 52
rNPP	69 ± 9	157 ± 31	112 ± 22	235 ± 14	207 ± 20	172 ± 19	278 ± NA	324 ± 56
NEP	131 ± 79	40 ± 30	178 ± NA	398 ± 42	311 ± 38	133 ± 47	380 ± 73	403 ± 102
R _e	824 ± 112	734 ± 37	1029 ± NA	1336 ± 57	1048 ± 64	1104 ± 260	1112 ± 100	3061 ± 162
R _a	489 ± 83	541 ± 35	755 ± 31	951 ± 114	673 ± 87	498 ± 58	615 ± NA	2323 ± 144
R _h	381 ± 40	247 ± 26	275 ± 31	420 ± 31	387 ± 26	298 ± 16	574 ± 98	877 ± 96
$\Sigma(\delta\text{Flux})$	439 ± 122	176 ± 81	163 ± 90	216 ± 102	206 ± 95	713 ± 314	359 ± 131	774 ± 225
R _e /GPP	0.88 ± 0.09	0.97 ± 0.04	0.86 ± 0.01	0.77 ± 0.03	0.77 ± 0.04	0.87 ± 0.22	0.76 ± 0.07	0.88 ± 0.04
R _e /GPP	0.85 ± 0.14	0.95 ± 0.06	0.86 ± 0.02	0.76 ± 0.04	0.76 ± 0.06	0.96 ± 0.38	0.76 ± 0.10	0.86 ± 0.06

The R_e/GPP ratio was calculated for each bootstrap before and after balance closure.

NPP, net primary production; NEP, net ecosystem production; GPP, gross primary production.

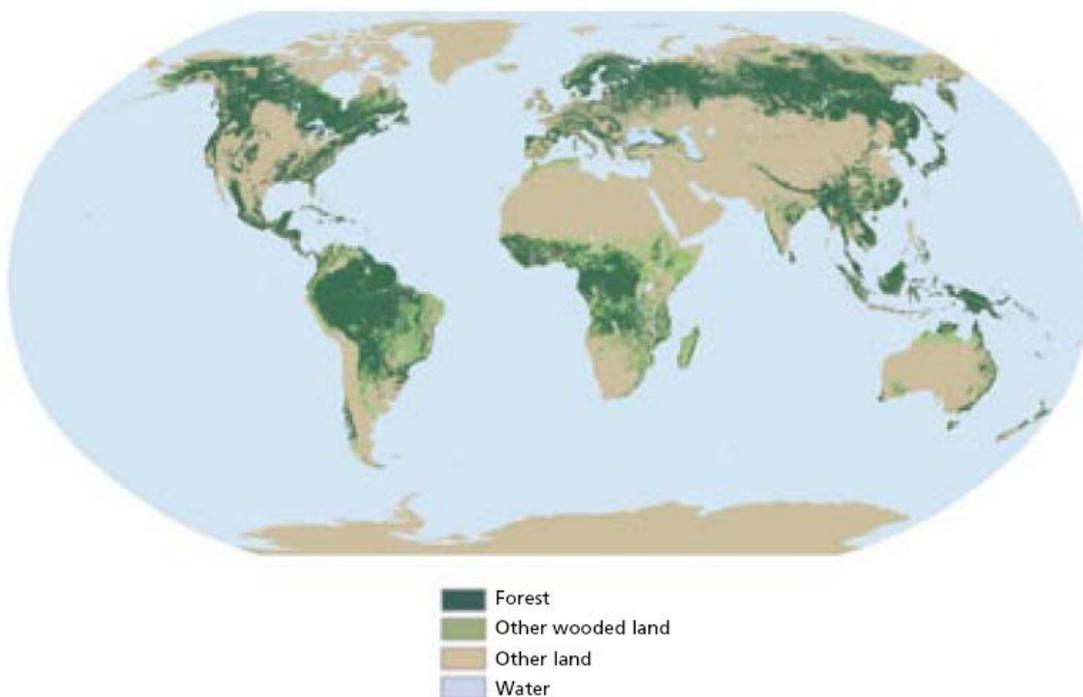


Abb. 21: The world's forests. Quelle: FAO, 2006.

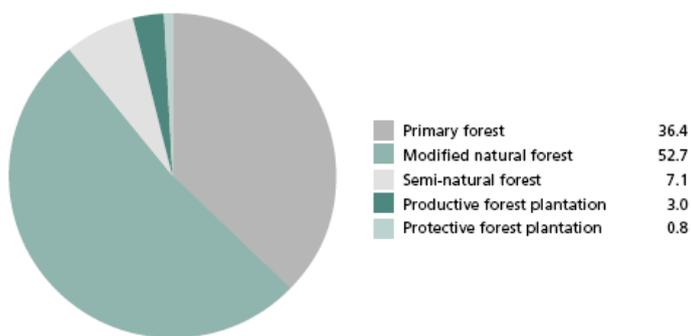


Abb. 22: Forest characteristics 2005 (%). Quelle: FAO, 2006.

Wälder besitzen auf Grund ihrer Ökosystemgüter und -dienstleistungen eine grosse sozio-ökonomische und ökologische Bedeutung. Neben der Bereitstellung von Holz für industrielle Zwecke und als Energiequelle, oder der Erhaltung von Biodiversität (Abb. 23) spielen sie eine grosse Rolle für den globalen Kohlenstoffhaushalt und für Mitigationsstrategien (UNEPP, 2002; FAO, 2006; Nabuurs et al., 2007).

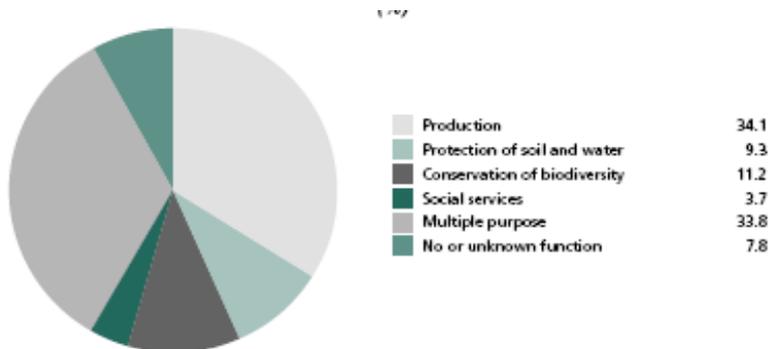


Abb. 23: Designated functions of forests globally 2005 (%). Quelle: FAO, 2006.

Die Abholzungsrate von Wäldern vor allem zur Gewinnung von Ackerland hat sich in den letzten Jahren etwas verlangsamt und betrug zwischen 2000 und 2005 7.3 Millionen Hektar pro Jahr, im Vergleich zu 8.3 Hektar pro Jahr im Zeitraum 1990 bis 2000 (FAO, 2006). Die grössten Waldverluste sind nach wie vor in Süd-Amerika und Afrika zu verzeichnen, während die Waldflächen in Europa und Asien (hier vor allem wegen Aufforstungen in China) in den letzten Jahren etwas zunahmen (Abb. 24). Gemäss FAO (2006) stehen heute schätzungsweise 348 Millionen Hektar Waldfläche unter Schutz.

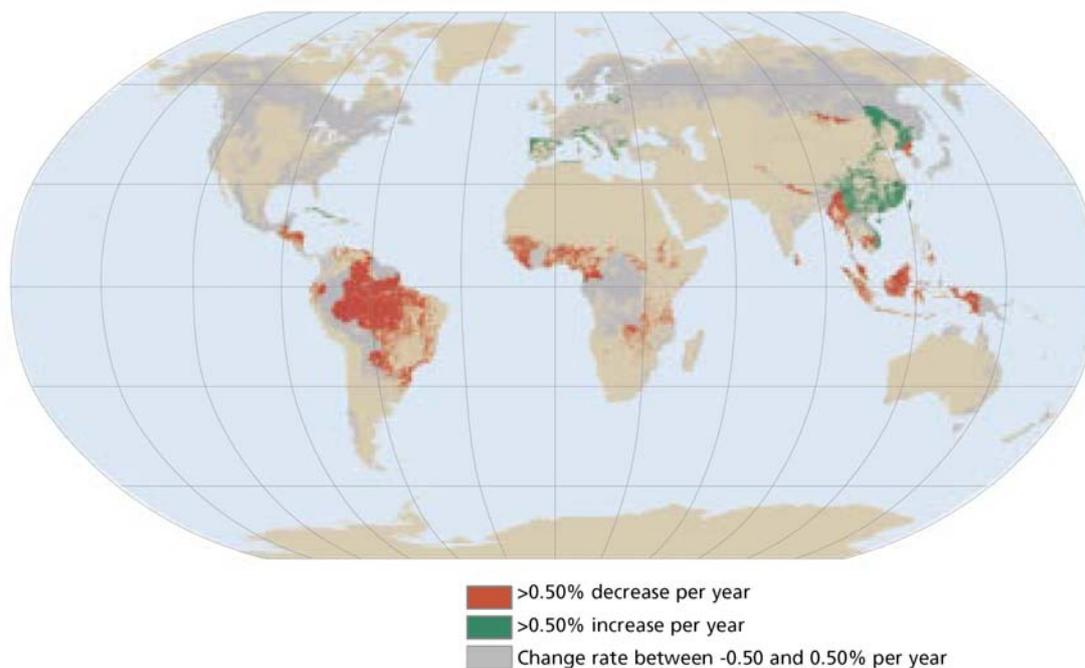


Abb. 24: Countries with large net changes in forest area 2000–2005. Quelle: FAO, 2006.

Trends

Ohne Abschätzung der illegalen Schlägerungen wurden im Jahr 2004 gemäss FAO (2005b) 3.4 Milliarden m³ Holz geschlägert, 60 % davon wurden als Industrieholz, der Rest als Brennholz verwendet. Obwohl intensiv bewirtschaftete Baumpflanzungen nur etwa 5 % der globalen Waldfläche ausmachen, deckten sie im Jahr 2000 etwa 35 % des globalen Industrieholzbedarfs ab. Dieser Anteil wird bis 2020 auf 44 % (Carle et al., 2002) und bis 2050 auf 75 % (Sohngen et al., 2001) steigen. Der Trend geht somit zu einer Konzentration der für industrielle Zwecke benötigten Holzmengen auf kleinere Flächen. Die Bedürfnisse der Gesellschaft nach Nutzholz durch intensives Management von kleinere Waldflächen zu erfüllen, ermöglicht z.B. auf den nicht intensiv genutzten Gebieten eine Ausdehnung des Waldschutzes (Nabuurs et al., 2007). Weiters wird nur ein geringer Anstieg des globalen Holzbedarfs prognostiziert (Easterling et al., 2007).

Die Abschätzungen der Auswirkung des Klimawandels auf den globalen Waldbestand sind mit Unsicherheiten behaftet. Der Verlust von Waldflächen wird andauern, manche Szenarien prognostizieren, dass der Nettoabholzungsdruck durch eine Verlangsamung des Bevölkerungswachstums und einer Ertragssteigerung im Landwirtschaftssektor mit der Zeit geringer werden wird (Nabuurs et al., 2007). Obwohl Klimawandel sich auf die Verfügbarkeit von Waldressourcen auswirken wird, werden anthropogene Einflüsse, besonders Landnutzungsänderungen und Abholzungen in den Tropen, von grosser Bedeutung sein (Zhao et al., 2005).

Der globale Nettoverlust an Waldfläche scheint sich in den letzten Jahren verlangsamt zu haben, doch in einigen tropischen und subtropischen Gebieten, vor allem in Süd-Ost-Asien und dem Amazonasgebiet, sind die Abholzungsraten noch immer hoch. Auch in einigen nördlichen Gebieten wie etwa in Sibirien ist die Degradationsrate durch unnachhaltige Abholzung hoch. Obwohl die Abschätzungen mit beträchtlichen Unsicherheiten behaftet sind, zeigen die aktuellen Trends eine fortlaufende Abholzung und Degradation in kritischen Gebieten. In den meisten Industrieländern hingegen werden die Waldgebiete durch eine Intensivierung im Landwirtschaftsmanagement zunehmen (Fischlin et al., 2007), so werden z.B. europäische Wälder für das SRES B2-

Szenario bis 2080 einen Zuwachs von 6 % zu verzeichnen haben (Karjalainen et al., 2002; Sitch et al., 2005).

1.4 Bioenergie

„*Research is needed on the competition for land between bio-energy crops and food crops*“ (Easterling et al., 2007).

Bei der Planung des Anbaus von Bioenergiepflanzen müssen Landnutzungskonkurrenzen (*Regie: siehe dazu Kapitel 7*) und Umweltauswirkungen berücksichtigt werden (z.B. European Environment Agency, 2006). Die Interaktionen eines expandierenden Bioenergiesektors mit anderen Landnutzungstypen und die Auswirkungen auf Agro-Ökosystemservices wie etwa Nahrungsmittelproduktion, Biodiversität, Boden- und Umweltschutz und Kohlenstoffsequestrierung wurden noch nicht zulänglich untersucht (Smith et al., 2007). Dennoch ermöglichen *Bottom-up* Methoden (Smeets et al., 2007) und *Integrated Assessment Modelling* (Hoogwijk et al., 2005), das bisherige Verständnis zu verbessern. Latein-Amerika, Afrika südlich der Sahara und Ost-Europa sind die entwicklungsfähigsten Regionen für den Anbau von Bioenergiepflanzen, mit zusätzlichen langfristigen Beiträgen aus Ozeanien, Ost- und Nordost-Asien. Schlüsselfaktoren, um das grosse Bioenergiepotential ausschöpfen zu können, sind eine Steigerung der landwirtschaftlichen Effizienz in den Entwicklungsländern, verbesserte Technologien in der Umwandlung von Biomasse zu Bioenergie als auch effiziente Transportwege (Smith et al., 2007).

Gemäss Strengers et al. (2007) werden Bioenergie-Plantagen vor allem in den Randzonen grosser Waldbiome und in Ost-Europa zu finden sein (Abb. 25).

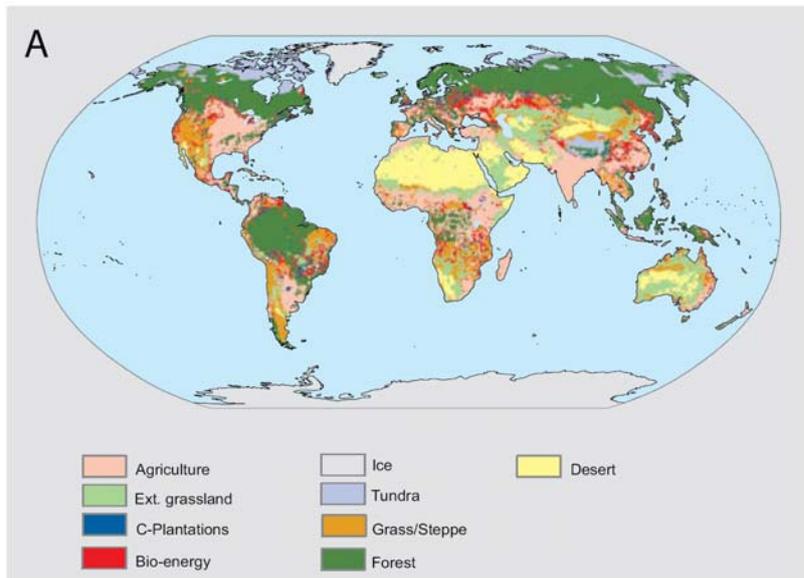


Abb. 25: Comparison of allocation of global afforestation in various studies: (A) Location of bio-energy and carbon plantations. Source: Strengers et al., 2007. Quelle: Nabuurs et al., 2007.

Basierend auf den vier IPCC SRES Szenarien (A1, A2, B1, B2; Nakićenović & Swart, 2000) und unter Verwendung des IMAGE 2.2 Models schätzen Hoogwijk et al. (2005) das geographische Potential für Energiepflanzen für den Zeitraum 2050 bis 2100 für drei Landnutzungskategorien (brachliegende Landwirtschaftsflächen, Land geringer Produktivität und „Restland“, wie etwa verbleibendes unproduktives Land) (Abb. 26). Brachliegende Landwirtschaftsflächen weisen das grösste geographische Potential, welches das Produkt aus der zum Anbau für Energiepflanzen verfügbaren Fläche und dem Ertrag ist, auf. Für 2050 wird ihr Potential auf 130 bis 410 EJ/Jahr, für 2100 auf 240 bis 850 EJ/Jahr geschätzt (Tab. 11, Tab. 12). Vor allem die Werte für die Szenarien A1 und B1 für das Jahr 2050 sind vergleichbar zum momentanen Energiekonsum, welcher 400 EJ/Jahr beträgt (Goldemberg, 2000). Das geographische Potential von wenig produktivem Land ist vernachlässigbar verglichen mit den anderen beiden Landnutzungskategorien. Auf regionalem Level bestehen signifikante Potentiale in der ehemaligen Sowjetunion, Ost-Asien und Süd-Amerika.

Neben der Verfügbarkeit von Land spielt der *Land-Claim-Exclusion*-Faktor eine bedeutende Rolle in der Abschätzung des geographischen Potentials. Dieser schwer

quantifizierbare Faktor gibt den Prozentsatz an Land an, welches nicht für die Herstellung von Biomasse zur Energiegewinnung verfügbar ist.

Zurzeit beträgt der Anteil an geschützten Flächen weltweit etwa 10 % (WCPA, 2000). Initiativen bestehen, ein globales Netzwerk von Schutzgebieten zu erstellen, um der Isolierung von Habitaten entgegenzuwirken. Schätzungen zufolge werden 10-20 % der globalen Landfläche für Naturschutz benötigt (WBGU, 1999).

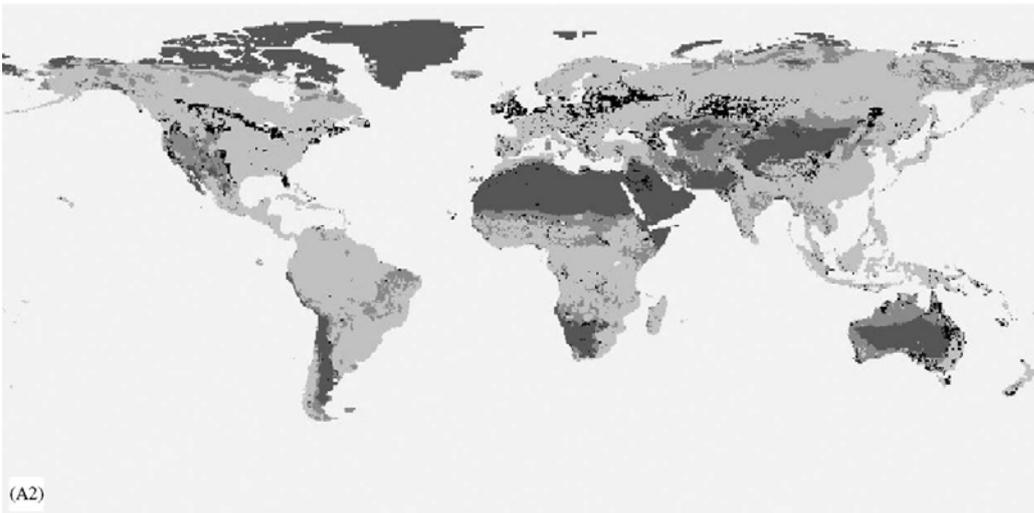
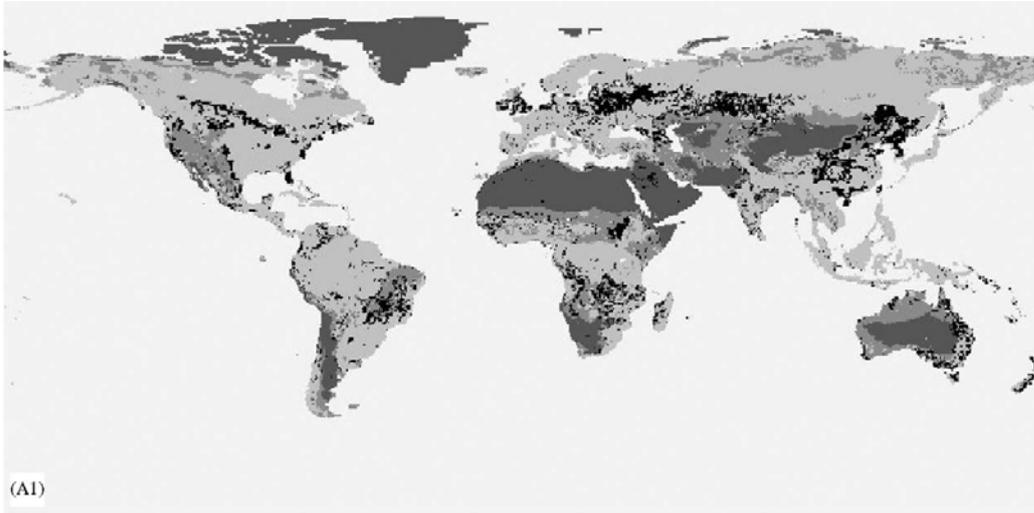
Etwa 2 % der globalen Landfläche ist verbautes Gebiet, auf Grund steigender Urbanisierung und Bevölkerungswachstums wird eine weitere Zunahme – vor allem in Entwicklungsländern – auf 3-4 % im Jahr 2030 erwartet (UNEP, 2002).

Tab. 11: Regional geographical potential of energy crops at three land-use categories for four scenarios, A1, A2, B1 and B2 for the year 2050 and 2100 (EJ/yr). Quelle: Hoogwijk et al., 2005.

	Energy crops: abandoned agricultural land								Energy crops: low productivity								Energy crops: rest land								
	A1		A2		B1		B2		A1		A2		B1		B2		A1		A2		B1		B2		
	2050	2100	2050	2100	2050	2100	2050	2100	2050	2100	2050	2100	2050	2100	2050	2100	2050	2100	2050	2100	2050	2100	2050	2100	
Canada	14	17	9	10	13	12	12	15	2	1	3	2	2	2	3	2	4	3	3	2	1	0	1	0	
USA	32	39	18	20	33	31	46	55	0	0	1	0	0	0	1	0	19	21	15	9	3	3	3	3	
Central America	8	22	1	1	10	19	4	10	0	0	0	0	0	0	0	0	9	10	4	2	2	2	1	1	
South America	53	73	1	1	56	70	37	41	1	0	1	0	1	0	1	1	32	33	24	12	6	5	6	5	
North Africa	2	5	1	2	2	5	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	2	2	1	0	0	0	
West Africa	20	69	3	36	22	58	2	25	0	0	0	0	0	0	0	0	29	27	20	16	5	4	4	3	
East Africa	15	49	1	13	17	41	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	24	25	14	12	4	4	3	2	
South Africa	24	83	1	36	26	66	1	35	0	0	0	0	0	0	0	0	17	18	9	8	4	3	2	2	
Western Europe	9	16	10	11	9	14	15	17	0	0	0	0	0	0	0	0	4	5	4	4	1	1	1	1	
East Europe	9	12	8	10	8	10	9	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Former USSR	97	147	47	63	83	101	74	106	1	0	3	1	2	1	2	1	27	33	21	25	5	4	4	5	
Middle East	2	13	1	2	2	10	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11	7	7	2	2	2	1	
South Asia	12	49	3	8	11	38	4	15	0	0	0	0	0	0	0	0	13	14	11	10	3	2	1	1	
East Asia	79	181	7	11	74	127	43	61	1	1	1	1	1	1	1	1	22	35	16	23	4	4	3	4	
South East Asia	1	28	1	1	1	19	2	10	0	0	0	0	0	0	0	0	8	6	6	2	2	1	1	1	
Oceania	32	42	17	17	31	34	26	36	0	0	0	0	0	0	0	0	21	22	17	14	4	4	3	3	
Japan	0	2	0	1	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
World	409	847	129	243	398	656	279	448	5	2	9	4	6	4	8	5	243	266	173	148	47	39	35	32	

Tab. 12: Global geographical potential for the years 2050 and 2100 for three land-use categories for the four scenarios (EJ/yr) Quelle: Hoogwijk et al., 2005.

	A1		A2		B1		B2	
	2050	2100	2050	2100	2050	2100	2050	2100
<i>At abandoned agricultural land</i>								
Primary biomass	409	847	129	243	398	656	279	448
Biomass fuel	225	466	71	134	219	361	153	246
Biomass electricity (PWh yr ⁻¹)	82	171	26	49	80	132	56	90
<i>At low-productive land</i>								
Primary biomass	5	2	9	4	6	4	8	5
Biomass fuel	3	1	5	2	3	2	4	3
Biomass electricity (PWh yr ⁻¹)	1	0	2	1	1	1	2	1
<i>At rest land</i>								
Primary biomass	243	266	173	148	47	39	35	32
Biomass fuel	134	146	95	81	26	21	19	18
Biomass electricity (PWh yr ⁻¹)	49	54	35	30	9	8	7	6



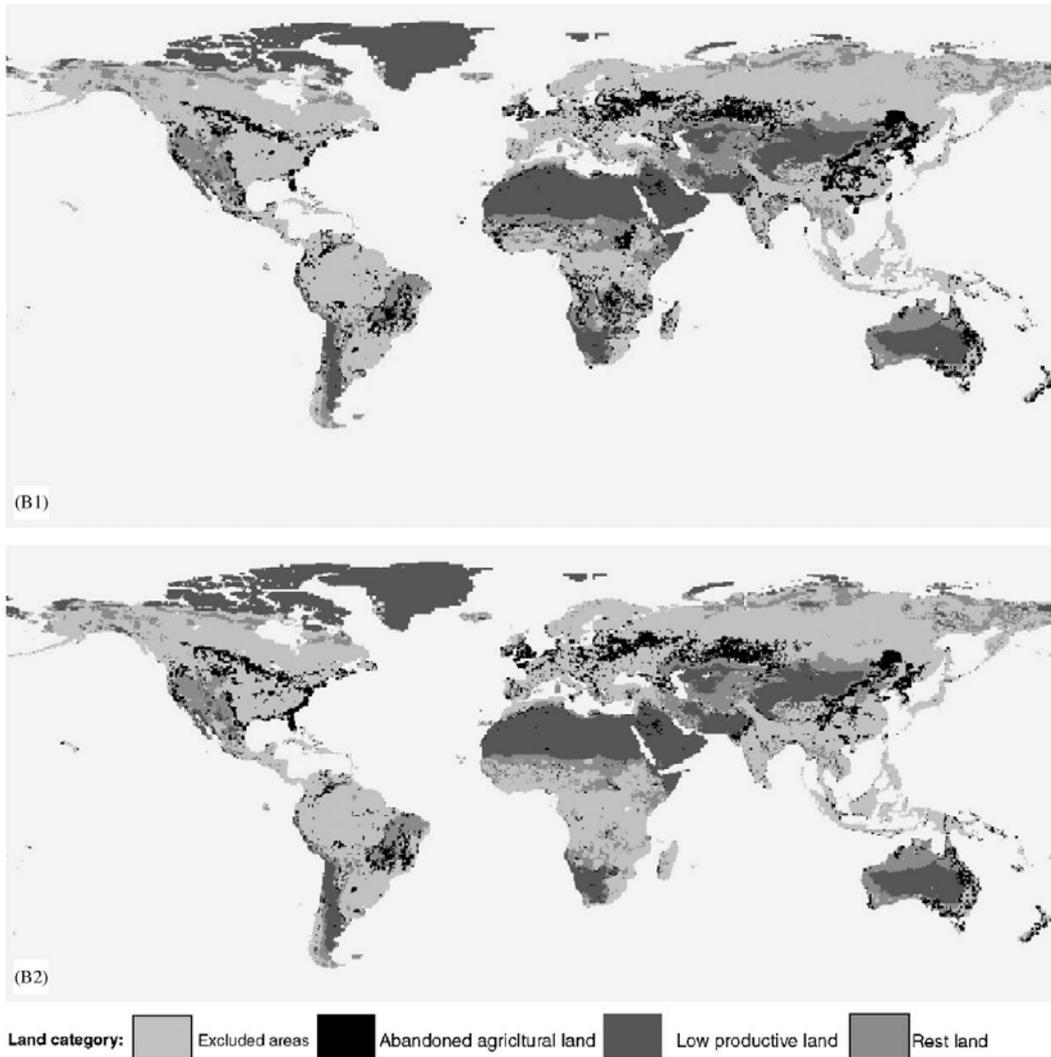


Abb. 26: Spatial distribution of the potentially available areas for energy crop as distinguished in this study: abandoned agricultural land, degraded land and rest land, for the A1, A2, B1 and B2 scenarios for the year 2050. Quelle: Hoogwijk et al., 2005.

2 Literatur

- Bounoua, L., deFries, R., Collatz, G. J., Sellers, P., Khan, H. (2002): Effects of land cover conversion on surface climate. *Climatic Change* 52, 29-64.
- Brovkin, V., Ganopolski, A., Claussen, M., Kubatzki, C., Petoukhov, V., 1999. Modelling climate response to historical land cover change. *Global Ecol. Biogeogr.* 8, 509–517.
- Carle, J., Vuorinen, P. und Del Lungo, A. (2002): Status and trends in global plantation development. *Forest Prod. J.* 52, 1-13.

- Cassman, K. G., Dobermann, A., Walters, D. T. und Yang, H. (2003): Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 28, 315-358.
- Chape, S., Blyth, S., Fish, L., Fox, P. und Spalding, M. (Hrsg.) (2003): 2003 United Nations List of Protected Areas. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK und UNEP-WCMC, Cambridge, UK.
- Chase, T. N., Pielke, R. A., Kittel, T. G. F., Nemani, R. R., Running, S. W. (1999): Simulated impacts of historical land cover changes on global climate in northern winter. *Climate Dynamics* 16, 93-105.
- deFries, R. S. und Townsend, J. R. G. (1994): NDVI-derived land cover classification at global scales. *International Journal of Remote Sensing* 15, 3567-3586.
- deFries, R. S. und Townsend, J. R. G. (1999): Global land cover characterization from satellite data: from research to operational implementation? *Global Ecology and Biogeography* 8, 367-379.
- deFries, R. S., Bounoua, L. und Collatz, G. J. (2002): Human modification of the landscape and surface climate in the next fifty years. *Global Change Biology* 8, 438-458.
- Duraiappah, A., Naeem, S., Agardi, T., Ash, N., Cooper, D., Diaz, S., Faith, D. P., Mace, G., McNeilly, J. A., Mooney, H. A., Oteng-Yeboah, A. A., Pereira, H. M., Polasky, S., Prip, C., Reid, W. V., Samper, C., Schei, P. J., Scholes, R., Schutyser, F. und van Jaarsveld, A. (Hrsg.) (2005): *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. Island Press, Washington, District of Columbia, 100 pp.
- Easterling, W. E., P. K. Aggarwal, P. Batima, K. M. Brander, L. Erda, S. M. Howden, A. Kirilenko, J. Morton, J.-F. Soussana, J. Schmidhuber und F. N. Tubiello (2007): Food, fibre and forest products. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (Hrsg.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 273-313.
- European Environment Agency (2006): How much biomass can Europe use without harming the environment? EEA Briefing 2/2006. Available at: http://reports.eea.europa.eu/briefing_2005_2/en.
- FAO (1997): *Africover land cover classification*. Report, Rome.
- FAO (2001): *Global Forest Resources Assessment 2000*. Main report. FAO Forestry Paper 140, 479 pp.
- FAO (2005a): *World agriculture: towards 2030/2050*. Interim report, Global Perspective Studies Unit, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 71 pp.
- FAO (2005b): *Global forest resources assessment 2005*. FAO Forestry Paper 147., Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 348 pp.
- FAO (2006): *Global Forest Resources Assessment 2005*. Progress towards sustainable forest management. FAO Forestry Paper 147. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAOSTAT (2006): FAOSTAT Agricultural Data. Available at: <http://faostat.fao.org/>.
- Feddema, J. J., Oleson, K. W., Bonan, G. B., Mearns, L. O., Buja, L. E., Meehl, G. A. und Washington, W. M., (2005): The Importance of Land Cover Change in Simulating Future Climates. *Science* 310, 1674-1678.
- Fedoroff, N. V. und Cohen, J. E. (1999): Plants and population: is there time? *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 96, 5903-5907.
- Fischer, G., van Velthuisen, H., Shah, M. und Nachtergaele, F. O. (2002b): *Global agro-ecological assessment for agriculture in the 21st century: methodology and results*. Research Report RR-02-02. ISBN 3-7045-0141-7., International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, 119 pp.
- Fischlin, A., G. F. Midgley, J. T. Price, R. Leemans, B. Gopal, C. Turley, M. D. A. Rounsevell, O. P. Dube, J. Tarazona, A. A. Velichko (2007): *Ecosystems, their properties, goods, and services*.

- Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (Hrsg.), Cambridge University Press, Cambridge, 211-272.
- Foley, J. A., deFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Coe, M. T., Daily, G. C., Gibbs, H. K., Helkowski, J. H., Holloway, T., Howard, E. A., Kucharik, C. J., Monfreda, C., Patz, J. A., Prentice, I. C., Ramankutty N., und Snyder, P. K., (2005): Global consequences of land use. *Science* 309, 570-574.
- Gerten, D., Schaphoff, S., Haberlandt, U., Lucht, W. und Sitch, S. (2004): Terrestrial vegetation and water balance: hydrological evaluation of a dynamic global vegetation model. *J. Hydrol.* 286, 249-270.
- Giri, C., Zhu, Z. L. und Reed, B. (2005): A comparative analysis of the Global Land Cover 2000 and MODIS land cover data sets. *Remote Sens. Environ.* 94, 123-132.
- Goldemberg, J. (2000): World energy assessment. New York: United Nations Development Programme, United Nations Department of Economic and Social Affairs, World Energy Council. 508 pp.
- Goldewijk, K. und Battjes, J. J. (1997): A Hundred Year Database for Integrated Environmental Assessments. National Institute of Public Health and the Environment, Bilthoven.
- Govindasamy, B, Duffy, P. B. und Caldeira, K. (2001): Land use changes and and northern hemisphere cooling. *Geophysical research letters* 28, 291-294.
- Green, R. E., Cornell, S. J., Scharlemann, J. P. W. und Balmford, A. (2005): Farming and the fate of wild nature. *Science* 307, 550-555.
- Hansen, M. C., deFries, R. S., Townshend, J. R. G. und Sohlberg, R. (2000): Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach. *International Journal of Remote Sensing* 21, 1331–1364.
- Hassan, R., Scholes, R. und Ash, N. (Hrsg.) (2005): Ecosystems and Human Wellbeing: Volume 1: Current State and Trends. Island Press, Washington, District of Columbia, 917 pp.
- Heistermann, M., Müller, C. und Ronneberger, K. (2006): Review Land in sight? Achievements, deficits and potentials of continental to global scale land-use modelling. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 114, 141-158.
- Hoogwijk, M., Faaij, A., Eickhout, B., de Vries, B. und Turkenburg, W. (2005): Potential of biomass energy out to 2100, for four IPCC SRES land-use scenarios. *Biomass & Bioenergy* 29, 225-257.
- Houghton, R. A., Hackler, J. L. und Lawrence, K. T. (1999): The U.S. carbon budget: contribution from land-use change. *Science* 285, 574-578.
- Huang, J., Pray, C. und Rozelle, S. (2002): Enhancing the crops to feed the poor. *Nature* 418, 678-684.
- Jarnagin, S. T. (2004): Regional and Global Patterns of Population, Land Use, and Land Cover Change. *GIScience and Remote Sensing* 41, 207-227.
- Karjalainen, T., Pussinen, A., Liski, J., Nabuurs, G. J., Erhard, M., Eggers, T., Sonntag, M. und Mohren, G. M. J. (2002): An approach towards an estimate of the impact of forest management and climate change on the European forest sector carbon budget: Germany as a case study. *Forest Ecol. Manag.* 162, 87-103.
- Klein Goldewijk, K. (2001): Estimating global land use change over the past 300 years: The HYDE Database. *Global Biogeochem. Cycles* 15, 417-433.
- Lambin, E. F. und Geist, H. (Hrsg.) (2006): Land-use and land-cover change. Local Processes and global impacts. Springer: Berlin/Heidelberg.
- Lambin, E. F. Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., Coomes, O. T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P. S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E. F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P. S., Richards, J. F., Skanes, H., Steffen, W., Stone, G. D., Svedin, U., Veldkamp, T. A., Vogel, C. und Xu, J. (2001): The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11, 261-269.

- Lamprey, B. L., Barron, E. J. und Pollard, D. (2005): Simulation of the relative impact of land cover and carbon dioxide to climate change from 1700 to 2100. *J. of Geophysical Research* 110, D20103, 17 pp.
- Leemans, R., Kreileman, R. E., Zuidema, G., Alcamo, J., Berk, M., van den Born, G. J., den Elzen, M., Hootsmans R., Janssen, M., Schaeffer, M., Toet, S. und de Vries, B. (1998): *Global Change Scenarios from IMAGE 2.1. RIVM: National Institute for Public Health and the Environment, Bilthoven, The Netherlands RIVM Publication 4815006.*
- Lepers, E., Lambin, E. F., Janetos, A. C., deFries, R., Achard, F., Ramankutty, N. und Scholes, R. J. (2005): A synthesis of information on rapid land-cover change for the period 1981-2000. *BioScience* 55, 115-124.
- Lucht, W., Schaphoff, S., Erbrect, T., Heyder U. und Cramer W., (2006): Terrestrial vegetation redistribution and carbon balance under climate change. *Carbon Balance Manage.*, 1:6 doi:10.1186/1750-0680-1-6.
- Luyssaert, S., Inglima, I., Jung, M., Richardson, Reichstein, A. D., Pape, M., D., Piao, S. L., Schulze, E. D., Wingate, L., Matteucci, G., Aragao, L., Aubinet, M., Beer, C., Bernhofer, C., Black K. G., Bonal, D., Bonnefond, J. -M., Chambers, J., Ciais, P., Cook, B., Davis, K. J., Dolman, A. J., Gielen B., Goulden, M., Grace, J., Grainer, A., Grelle, A., Griffis, T., Grünwald, T., Guidolotti, G., Hanson, P. J., Harding, R., Hollinger, D. Y., Hutyra, L. R., Kolari, P., Kruijt, B., Kutsch, W., Lagergren, F. und Laurila, T. (2007): CO₂ balance of boreal, temperate, and tropical forests derived from a global database. *Global Change Biology* 13, 2509-2537.
- McGuire, A., Sitch, S., Clein, J., Dargaville, R., Esser, G., Foley, J., Heimann, M., Joos, F., Kaplan, J., Kicklighter, D., Meier, R., Melillo, J., Moore, B., Prentice, I., Ramankutty, N., Reichenau, T., Schloss, A., Tian, H., Williams, L., Wittenberg, U. (2001): Carbon balance of the terrestrial biosphere in the twentieth century: analyses of CO₂, climate and land use effects with four process-based ecosystem models. *Global Biogeochem. Cycles* 15, 183-206.
- Metzger, M. J., Rounsevell, M. D. A., Acosta-Michlik, L., Leemans, R. und Schröter D., (2006): The vulnerability of ecosystemservices to land use change. *Agr.Ecosyst. Environ.* 114, 69-85.
- Meyer, W. B. (1995): Past and Present Land Use and Land Cover in the USA. *Consequences* 1, 25-33.
- Nabuurs, G.J., O. Masera, K. Andrasko, P. Benitez-Ponce, R. Boer, M. Dutschke, E. Elsiddig, J. Ford-Robertson, P. Frumhoff, T. Karjalainen, O. Krankina, W.A. Kurz, M. Matsumoto, W. Oyhantcabal, N.H. Ravindranath, M.J. Sanz Sanchez, X. Zhang (2007): Forestry. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (Hrsg.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Nakićenović, N. und Swart, R. (Hrsg.) (2000): *Emissions Scenarios, A Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 599 pp.
- Pielke, R. A., Marland, G., Betts, R. A., Chase, T. N., Eastman, J. L., Niles, J. O., Niyogi, D. D. S. und Running, S. W. (2002): The influence of landuse change and landscape dynamics on the climate system: Relevance to climate-change policy beyond the radiative effect of greenhouse gases. *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A*, 360, 1705-1719.
- Pitman, A., Pielke, R. Sr., Avissar, R., Claussen, M., Gash, J. und Dolman, H. (1999): The role of the land surface in weather and climate: Does the land surface matter? *IGBP Newsl.* 39, 4-9.
- Ramankutty, N. und Foley, J. A. (1998): Characterizing patterns of global land use: An analysis of global croplands data. *Global Biogeochem. Cycles* 12, 667-685.
- Ramankutty, N. und Foley, J. A. (1999): Estimating historical changes in global land cover: Croplands from 1700 to 1992. *Global Biogeochem. Cycles* 13, 997-1027.

- Ramankutty N., Evan, A. T., Monfreda, C. und Foley, J. A. (2008): Farming the Planet. Part 1: The Geographic Distribution of Global Agricultural Lands in the year 2000. *Global Biogeochemical Cycles* 22, GB1003.
- Reid, W.V., H.A. Mooney, A. Cropper, D. Capistrano, S.R. Carpenter, K. Chopra, P. Dasgupta, T. Dietz, A.K. Duraiappah, R. Hassan, R. Kasperson, R. Leemans, R.M. May, A.J. McMichael, P. Pingali, C. Samper, R. Scholes, R.T. Watson, A.H. Zakri, Z. Shidong, N.J. Ash, E. Bennett, P. Kumar, M.J. Lee, C. Raudsepp-Hearne, H. Simons, J. Thonell und M.B. Zurek (Hrsg.) (2005): *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. A Report of the Millenium Ecosystem Assesment*. Island Press, Washington, District of Columbia, 155 pp.
- Rosegrant, M., Paisner, M. S. und Meijer, S. (2001): Long-Term Prospects for Agriculture and the Resource Base. The World Bank Rural Development Family. Rural Development Strategy Background Paper #1. The World Bank, Washington.
- Rosegrant, M. W., Cai, X. und Cline, S. A. (2002): *World Water and Food: Dealing with Scarcity*. International Food Policy Research Institute, Washington, DC, USA.
- Running, S. W., Nemani, R. R., Heinsch, F. A., Zhao, M., Reeves, M. und Hashimoto H (2004): A continuous satellite-derived measure of global terrestrial primary production. *BioScience* 54, 547-560.
- Sala, O. E., Chapin, F. S., Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L. F., Jackson, R. B., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D. M., Mooney, H.A., Oesterheld, M., Poff, N. L., Sykes, M. T., Walker, B. H., Walker, M., Wall, D. H. (2000): Biodiversity: global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287, 1770-1774.
- Scanlon, B. R., Jolly, I., Sophocleous, M. und Zhang, L. (2007): Global impacts of conversions from natural to agricultural ecosystems on water resources: Quantity versus quality. *Water Resour. Res.*, 43, W03437, doi:10.1029/2006WR005486.
- Schaphoff, S., Lucht, W., Gerten, D., Sitch, S., Cramer, W. und Prentice, I. C. (2006): Terrestrial biosphere carbon storage under alternative climate projections. *Climatic Change* 74, 97-122.
- Schröter, D., Cramer, W., Leemans, R., Prentice, I. C., Araújo, M. B., Arnell, N. W., Bondeau, A., Bugmann, H., Carter, T. R., Gracia, C. A., de la Vega-Leinert, A. C., Erhard, M., Ewert, F., Glendining, M., House, J. I., Kankaanpää, S., Klein, R. J. T., Lavorel, S., Lindner, M., Metzger, M. J., Meyer, J., Mitchell, T. D., Reginster, I., Rounsevell, M., Sabaté, S., Sitch, S., Smith, B., Smith, J., Smith, P., Sykes, M. T., Thonicke K., Thuiller, W., Tuck, G., Zaehle, S. und Zierl, B. (2005): Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science* 310, 1333-1337.
- Sitch, S., Smith, B., Prentice, I. C., Arneth, A., Bondeau, A., Cramer, W., Kaplan, J. O., Levis, S., Lucht, W., Sykes, M. T., Thonicke, K. und Venevsky, S. (2003): Evaluation of ecosystem dynamics, plant geography and terrestrial carbon cycling in the LPJ dynamic global vegetation model. *Global Change Biol.* 9, 161-185.
- Sitch, S., V. Brovkin, W. von Bloh, D. van Vuuren, B. Assessment und A. Ganopolski (2005): Impacts of future land cover changes on atmospheric CO₂ and climate. *Global Biogeochem. Cy.* 19, GB2013, doi:10.1029/2004GB002311.
- Smeets, E. M. W., Faaij, A. P. C., Lewandowski, I. M. und Turkenburg, W. C. (2007): A bottom up quickscan and review of global bio-energy potentials to 2050. *Progress in Energy and Combustion Science* 33, 56-106.
- Smith, P., D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H. Janzen, P. Kumar, B. McCarl, S. Ogle, F. O'Mara, C. Rice, B. Scholes, O. Sirotenko (2007): Agriculture. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (Hrsg.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Sohnngen, B., Mendelsohn, R. und Sedjo, R. (2001): A global model of climate change impacts on timber markets. *J. Agr. Resour. Econ* 26, 326-343.

- Strengers, B., van Minnen, J. und Eickhout, B. (2007): The role of carbon plantations in mitigating climate change: potentials and costs. *Climatic change*. DOI 10.1007/s10584-007-9334-4.
- Suttie, J. M., Reynolds, S. G. und Batello, C. (Hrsg.) (2005): *Grasslands of the World*. Rom: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 514 pp.
- Sathaye, J., A. Najam, C. Cocklin, T. Heller, F. Lecocq, J. Llanes-Regueiro, J. Pan, G. Petschel-Held, S. Rayner, J. Robinson, R. Schaeffer, Y. Sokona, R. Swart, H. Winkler (2007): Sustainable Development and Mitigation. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (Hrsg.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Tolba, M. K. und El-Kholy, O. A. (Hrsg.) (1992): *The World Environment 1972–1992: Two Decades of Challenge*. Chapman & Hall, London.
- Trewavas, A. (2002): Malthus foiled again and again. *Nature* 418, 668-670.
- Turner, B. L. II, Clark, W. C., Kates, R. W., Richards, J. F., Mathews, J. T. und Meyer, W. B. (Hrsg.) (1990): *The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere Over the Past 300 Years*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Turner, B. L., Lambin, E. F. und Reenberg, A. (2007): The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *PNAS* 104, 20666-20671.
- UNEP (2002): *Global Environmental Outlook 3 (GEO-3). Past, present and future perspectives*. London: UNEP, Earthscan. 416 pp.
- UN (United Nations Department of Economic and Social Affairs) (2007a): *Indicators of sustainable development: Guidelines and methodologies*. New York. 3. Auflage.
- UN (United Nations Division for Sustainable Development) (2007b): *Addressing climate change in national sustainable development strategies – common practices*. Background Paper, Expert Group Meeting on Integrating Climate Change into National Sustainable Development Strategies, New York, 12.-13. November 2007.
- Veldkamp, A. und Verburg, P. H. (2004): Modelling land use change and environmental impact. *J. Environ. Manage.* 72, 1-3.
- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J. und Melillo, J. M. (1997): Human domination of earth's ecosystems. *Science* 277, 494-499.
- Voltaire, A. (2006): Quantifying the impact of future land-use changes against increases in GHG concentrations. *Geophys Res. Lett.* 33, doi:1029/2005GL024354.
- Voltaire, A., Eickhout, B., Schaeffer, M., Royer, J.-F. und Chauvin, F. (2007): Climate simulation of the twenty-first century with interactive land-use changes. *Clim Dyn* DOI 10.1007/s00382-007-0228-y
- Wachter, S. (2006): *Nachhaltige Entwicklung. Das Konzept und seine Umsetzung in der Schweiz*, Rüegger Verlag, Zürich/Chur.
- WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen) (1999): *Welt im Wandel – Erhaltung und nachhaltige Nutzung der Biosphäre*. Bremerhaven: WBGU; 482 pp.
- WCED (World Commission on Environment and Development) 1987: *Our Common Future*. Oxford (siehe auch: <http://habitat.igc.org/open-gates/wced-ocf.htm>).
- WCPA (World Commission on Protected Areas) (2000): *Protected areas: benefits beyond boundaries—WCPA in action*. Gland: IUCN. 19 pp.
- White, R., Murray, S. und Rohweder, M. (2000): *Grassland Ecosystems. Pilot Analysis of Global Ecosystems (PAGE)*. World Resources Institute. 69 pp.
- World Bank (2003): *World Development Indicators*. The World Bank, Washington, D.C..
- Zhao, Y., Wang, C., Wang, S. und Tibig, L. (2005): Impacts of present and future climate variability on agriculture and forestry in the humid and sub-humid tropics. *Climatic Change* 70, 73-116.