



Wissenschaftlicher Beirat
der Bundesregierung
Globale
Umweltveränderungen

Die Anrechnung biologischer Quellen und Senken im Kyoto-Protokoll:

Fortschritt oder Rückschritt für den globalen Umweltschutz?

Sondergutachten
1998



Mitglieder des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen

(Stand: 7. Mai 1998)

Prof. Dr. Friedrich O. Beese

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

Prof. Dr. Klaus Fraedrich

Meteorologe: Meteorologisches Institut der Universität Hamburg

Prof. Dr. Paul Klemmer

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

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

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

Prof. Dr. Lenelis Kruse-Graumann

Psychologin: Schwerpunkt „Ökologische Psychologie“ der Fernuniversität Hagen

Prof. Dr. Christine Neumann

Medizinerin: Universitätshautklinik Göttingen

Prof. Dr. Ortwin Renn

Soziologe: Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Stuttgart

Prof. Dr. Hans-Joachim Schellnhuber (Vorsitzender)

Physiker: Direktor des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung

Prof. Dr. Ernst-Detlef Schulze

Botaniker: Max-Planck-Institut für Biogeochemie, Jena

Prof. Dr. Max Tilzer

Limnologe: Fakultät für Biologie, Universität Konstanz

Prof. Dr. Paul Velsinger

Ökonom: Leiter des Fachgebiets Raumwirtschaftspolitik der Universität Dortmund

Prof. Dr. Horst Zimmermann

Ökonom: Leiter der Abteilung für Finanzwissenschaft der Universität Marburg



**Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung
Globale Umweltveränderungen**

Die Anrechnung biologischer Quellen und Senken im Kyoto-Protokoll: Fortschritt oder Rückschlag für den globalen Umweltschutz?

Sondergutachten 1998

mit 12 Abbildungen

ISBN 3-9806309-0-0

Impressum:

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen
Geschäftsstelle am Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung
Postfach 12 01 61
27515 Bremerhaven

Tel.: 0471/4831-723/733

Fax: 0471/4831-218

Email: wbgü@awi-bremerhaven.de

Homepage: <http://www.awi-bremerhaven.de/WBGU/>

Diese Stellungnahme ist im Internet unter
http://www.awi-bremerhaven.de/WBGU/wbgü_sn1998.html
abrufbar.

Titelbilder: Birken in Finnland, Industrie an der Weser, Waldbrand in Ost-Kalimantan, Holztransport
in British Columbia, Urwaldriese auf Java (alle Fotos: Meinhard Schulz-Baldes)

Redaktionsschluß: 19.6.1998

© 1998, WBGU

Vorwort

Dieses Sondergutachten hat der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) auf Bitte der Ministerin für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Frau Dr. Merkel, im Nachgang zur Dritten Vertragsstaatenkonferenz zur UN-Klimarahmenkonvention erstellt. Das auf dieser Konferenz im Dezember 1997 in Kyoto beschlossene Protokoll zur Klimarahmenkonvention („Kyoto-Protokoll“) berücksichtigt in unerwartet starkem Maße die Funktion biologischer Systeme als Quellen beziehungsweise Senken von Treibhausgasen. Das WBGU-Sondergutachten sollte deshalb den Stand des Wissens zu dieser Thematik zusammenfassen, die einschlägigen Vereinbarungen im Kyoto-Protokoll in diesem Licht bewerten und Vorschläge für die umweltpolitische Positionierung der Bundesregierung bei den anstehenden Verhandlungen machen.

Das vorliegende Gutachten ist wie üblich vom Beirat in seiner Gesamtheit erarbeitet und verabschiedet worden. Dabei haben die Geschäftsstelle des WBGU und die wissenschaftlichen Assistentinnen und Assistenten der Beiräte (siehe Seite 76) wertvolle inhaltliche, logistische und technische Hilfestellung geleistet. Besonders hervorzuheben ist die fachliche Mitwirkung von Herrn Dipl.-Geogr. Gerald Busch, Frau Dipl.-Phys. Ursula Fuentes Hutfilter und Frau Dipl.-Biol. Martina Mund bei der Konzipierung und Ausführung dieser Studie.

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	1
2	Einleitung	3
3	Analyse des Kyoto-Protokolls	4
3.1	Berechnungsverfahren	4
3.1.1	Zukünftige Verpflichtungszeiträume	8
3.2	Anrechnung von Aufforstung, Wiederaufforstung und Entwaldung (Artikel 3 Absatz 3)	8
3.2.1	Nationalberichte und Treibhausgasinventare (Artikel 7 und 5)	9
3.2.2	Die IPCC-Richtlinien	9
3.3	Anrechnung zusätzlicher Tätigkeiten? (Artikel 3 Absatz 4)	11
3.4	Flexible Umsetzung von Maßnahmen in Industrieländern: Artikel 6 und 17	12
3.5	Maßnahmen in Entwicklungsländern (Artikel 12)	12
4	Quellen- und Senkenpotentiale terrestrischer Ökosysteme	14
4.1	Kohlenstoffvorräte in der Bio- und Pedosphäre	14
4.2	Vergleich von Vegetationstypen	15
5	Kohlenstoffflüsse	18
5.1	Das Konzept der Netto-Biomproduktivität	18
5.2	Die Netto-Primärproduktivität (NPP), die Netto-Ökosystemproduktivität (NEP) und Netto-Biomproduktivität (NBP)	20
5.3	Abschätzung der globalen Kohlenstoffbilanz	20
5.3.1	Natürliche Variabilität	21
5.3.2	Vollständige Kohlenstoffbilanzen von Nationalstaaten	21
6	Veränderung von Quellen und Senken durch menschliche Tätigkeiten	22
6.1	Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft	22
6.1.1	Umwandlung von Primärwäldern in Sekundärwälder oder bewirtschaftete Wälder	22
6.1.2	Degradation	23
6.1.3	Umwandlung von Wald in Weide oder Grasland	23
6.1.4	Umwandlung von Wald in Acker	24
6.1.5	Umwandlung von Grasland in Acker	25
6.1.6	Umwandlung von Feuchtgebieten	25
6.1.7	Konversion von Grasland und Acker in Wald	26
6.1.8	Forstmanagement	27
6.1.9	Optionen zur Kohlenstoffspeicherung unter landwirtschaftlicher Nutzung	28
6.2	Indirekte menschliche Einflüsse	29
6.2.1	Veränderung der Quellen und Senken durch Stickstoffdeposition	29

6.2.2	Veränderung der Quellen und Senken durch höhere atmosphärische Kohlendioxidkonzentrationen (Kohlendioxiddüngungseffekt)	30
6.2.3	Veränderung der Quellen und Senken durch Klimaveränderungen	30
6.2.4	Quellen durch Feuer und andere episodische Störungen	30
7	Bewertung	32
7.1	Risiken und Probleme der Anrechnung von biologischen Senken	33
7.1.1	Risiko für langfristige Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen	33
7.1.2	Zeitliche Dynamik der Vorräte und Flüsse	33
7.1.3	Große Unsicherheiten in der Abschätzung	36
7.2	Problematische Anrechnung im Kyoto-Protokoll	37
7.2.1	Berechnungsverfahren	37
7.2.2	Lücke vor Verpflichtungszeitraum	37
7.2.3	Problematische Anrechnung von Projekten in Entwicklungsländern	37
7.3	Auswahl und Definition der anzurechnenden Tätigkeiten	38
7.3.1	Unklare Definitionen	38
7.3.2	Mögliche negative Anreize	38
7.3.3	Vernachlässigung wichtiger Quellen und Senken	39
7.3.4	Gemeinsame Umsetzung (Art. 6) und Handel mit Emissionszertifikaten (Art. 17)	39
8	Empfehlungen	40
8.1	IPCC-Sonderbericht über biologische Quellen und Senken	41
8.2	Anrechnung von Aufforstung, Wiederaufforstung und Entwaldung in Industrieländern	41
8.2.1	Vorschläge zu den IPCC-Richtlinien	41
8.2.2	Modalitäten zur Anrechnung von Senken (Art. 7 Abs. 4)	42
8.2.3	Sollen weitere Tätigkeiten nach Art. 3 Abs. 4 angerechnet werden?	43
8.2.4	Zukünftige Verpflichtungszeiträume	43
8.3	„Gemeinsame Umsetzung“ von Maßnahmen zwischen Industrieländern	43
8.4	Maßnahmen in Entwicklungsländern	43
8.5	Zusammenarbeit zwischen den Gremien internationaler Umweltabkommen	44
9	Glossar	45
10	Anhang 1: Tabellen	47
11	Anhang 2: Das Kyoto-Protokoll	56
12	Literatur	68

Tabellen

Tab. 1	Überblick über das Berechnungsverfahren im Kyoto-Protokoll	13
Tab. 2	Die globalen terrestrischen Kohlenstoffvorräte und die Netto-Primärproduktion	16
Anh. Tab. 1	Anthropogene CO ₂ -Emissionen und Aufnahmen aus Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft sowie Auswirkungen auf die Gesamt-CO ₂ -Emissionen	47
Anh. Tab. 2	Verteilung der Kohlenstoffvorräte der Länder und Vegetationstypen sowie Kohlenstoffmenge pro Fläche	8
Anh. Tab. 3	Kohlenstoffvorräte in der organischen Auflage von Waldböden	48
Anh. Tab. 4	Abschätzung der Netto-Primärproduktivität und Netto-Ökosystemproduktivität	49
Anh. Tab. 5	Kohlenstoffvorräte von Primärwäldern oder alten, naturnahen Wäldern	50
Anh. Tab. 6	Kohlenstoffvorräte in der oberirdischen Biomasse und im Boden nach Umwandlung von Primär- oder Sekundärwald in Weide- oder Grasland	52
Anh. Tab. 7	Vorratsänderung des Bodenkohlenstoffs durch Ackernutzung ehemaliger tropischer Waldstandorte	53
Anh. Tab. 8	Vorratsänderung des Bodenkohlenstoffs durch Ackernutzung ehemaliger temperater Graslandstandorte	53
Anh. Tab. 9	Treibhausgasvorräte und -flüsse in Feuchtgebieten	54
Anh. Tab. 10	Potentiale für die Aufnahme und Speicherung von Kohlenstoff durch Aufforstungsmaßnahmen (Plantagen)	55
Anh. Tab. 11	Modell-Berechnungen zur Wirkung erhöhter Stickstoffdepositionen auf die Kohlenstoffsinkenkapazität der Erde	55

Abbildungen

- Abb. 1 Berechnung der Bezugsmenge (1990) 5
- Abb. 2 Anrechnung biologischer Quellen und Senken nach Art. 3 Abs. 3 6
- Abb. 3 Anrechnung biologischer Quellen und Senken im Kyoto-Protokoll 7
- Abb. 4 Schematische Darstellung der Kompartimente eines terrestrischen Ökosystems 15
- Abb. 5 Modell zum Verbleib des Kohlenstoffs nach der Assimilation im Ökosystem 18
- Abb. 6 Mit dem Terrestrial Ecosystem Model (TEM) simulierte Entwicklung des Kohlenstoffsinkenpotentials der terrestrischen Biosphäre 19
- Abb. 7 Modell zur Abhängigkeit der Photosynthese und der heterotrophen Atmung von abiotischen Faktoren 20
- Abb. 8 Jährliche mittlere globale Kohlenstoffbilanz für 1980 bis 1989 21
- Abb. 9 Moderat bis stark degradierte Böden aus landwirtschaftlicher Nutzung, die als ehemalige Waldstandorte zur Aufforstung geeignet sind 27
- Abb. 10 Simulierte Veränderung des gesamten Kohlenstoffvorrats im Boden für die zentralen Getreideproduktionsgebiete der USA 29
- Abb. 11 Akkumulation von oberirdischer Biomasse in Primärwäldern, Sekundärwäldern und Plantagen 34
- Abb. 12 Kahlschlag und Wiederaufforstung – Wirkung auf Kohlenstoffvorräte und -flüsse 35

Das Kyoto-Protokoll zur Klimarahmenkonvention enthält erstmals quantifizierte, rechtlich verbindliche Verpflichtungen zur Begrenzung und Minderung der Emission von Treibhausgasen. Die Industriestaaten müssen demnach ihre Emissionen bis zum Verpflichtungszeitraum 2008-2012 um mindestens 5% (bezogen auf 1990) reduzieren. Nach Art. 3 Abs. 3 des Kyoto-Protokolls werden im Verpflichtungszeitraum 2008–2012 auch biologische Quellen und Senken angerechnet, allerdings noch begrenzt auf „Aufforstung“, „Wiederaufforstung“ und „Entwaldung“ seit 1990. Art. 3 Abs. 4 eröffnet darüber hinaus die Möglichkeit, weitere Maßnahmen im Bereich „Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft“ auf die Reduktionsverpflichtungen anzurechnen.

In dieser Studie bewertet der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) das Kyoto-Protokoll im Hinblick auf die Anrechnung biologischer Quellen und Senken. Die Idee einer Verbindung von Klima- und Senkenschutz wird vom Beirat grundsätzlich befürwortet. Die Art der Anrechnung von Tätigkeiten im Bereich „Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft“, wie sie im Kyoto-Protokoll geregelt wird, bewertet der Beirat allerdings als unzureichend und verbesserungsbedürftig, um den Zielen „Klimaschutz“ und „Schutz der biologischen Vielfalt“ gemeinsam zu dienen. Der derzeitige Anrechnungsmodus kann zu negativen Anreizen sowohl für den Klimaschutz als auch für den Schutz der Biodiversität und der Böden führen. Die Verrechnung von terrestrischen Quellen und Senken in Form von Bestandsänderungen in einem 5jährigen Verpflichtungszeitraum berücksichtigt zudem nicht die unterschiedliche zeitliche Dynamik von Kohlenstoffvorräten und -flüssen.

Auch ist die durch terrestrische Senken erreichbare Reduktion der Netto-Emissionen mit vielen Unsicherheiten und Unwägbarkeiten verbunden. Die terrestrischen Senken sind keineswegs konstant. Schon bei geringfügigen Klimaänderungen können Senken zu Quellen werden. Die energiebedingten Emissionen

können langfristig nicht durch die terrestrische Biosphäre kompensiert werden.

Wegen der Unsicherheiten in der Abschätzung der Kohlenstoffvorräte wird die Transparenz der Reduktionsverpflichtungen durch die Anrechnung von Senken vermindert, so daß die Verifizierung erschwert wird.

Folgende Kritikpunkte werden in dieser Studie erläutert und begründet:

ARTIKEL 3

- Das Verfahren zur Anrechnung berücksichtigt Senken nur innerhalb des Verpflichtungszeitraums 2008–2012, nicht aber bei der Berechnung der Bezugsgröße (1990). Zudem erlaubt Art. 3 Abs. 7 solchen Ländern, für die 1990 der Bereich „Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“ eine Nettoquelle für Kohlendioxid darstellt, ihre Bezugsmenge (1990) um die Quellen im Bereich Landnutzungsänderung zu vergrößern. Dadurch vermindert sich die Verpflichtung zur Reduktion der energiebedingten Emissionen.
- Die anzurechnenden Tätigkeiten „Aufforstung“, „Wiederaufforstung“ und „Entwaldung“ sind nicht hinreichend definiert. Insbesondere ist unklar, wie Wiederaufforstung von Forstmanagement-Praktiken abgegrenzt wird. Je nach Definition kann der Bereich der anzurechnenden Senken deutlich eingeschränkt oder stark erweitert werden.
- In Art. 3 Abs. 3 ist nicht genau definiert, welche Kohlenstoffvorräte bzw. Änderungen der Vorräte in die Berechnung der Senken eingehen sollen.
- Die Umwandlung von Primärwäldern in Sekundärwälder oder Holzplantagen könnte, bei entsprechender Definition der verrechenbaren Tätigkeiten, indirekt gefördert werden.
- Die Nutzung von Wäldern (Ernte oder Rodung, ohne Umwandlung in andere Landnutzungsformen) wird nicht berücksichtigt, obwohl sie eine bedeutende Kohlenstoffquelle sein kann.
- Die Möglichkeit, sich Wiederaufforstungen anrechnen zu lassen, ohne daß die Kohlenstoffemissionen durch die Rodung erfaßt werden, ergibt ei-

nen Anreiz zur Rodung von Primärwäldern.

- Die Degradation von Wäldern wird im Gegensatz zur Entwaldung nicht erfaßt, obwohl sie zu Emissionen in der gleichen Größenordnung führt.
- Der Schutz von Primärwäldern, Feuchtgebieten und Böden als natürliche Kohlenstoffspeicher wird nicht positiv gefördert.
- Eine Anrechnung der Bestandsänderungen in den 5jährigen Verpflichtungszeiträumen könnte einen Anreiz zur Anlage schnellwachsender Holzplantagen ohne nachhaltige Kohlenstoffspeicherung schaffen, sofern nicht sicher gewährleistet ist, daß die Verpflichtungszeiträume unmittelbar aufeinander folgen.
- Die Einbeziehung weiterer Bereiche von Landnutzung und Forstwirtschaft (Art. 3 Abs. 4) würde die Verifikationsschwierigkeiten der Anrechnung weiter erschweren. Damit würde die Nachprüfbarkeit der Reduktionsverpflichtungen weiter vermindert.

ARTIKEL 5

- Die aktuellen IPCC-Richtlinien zur Inventarisierung der Emissionen sind nicht geeignet, als rechtliche Grundlage für die Anrechnung biologischer Quellen und Senken zu dienen, da sie keine hinreichenden Mindestanforderungen an die Erfassung aller relevanten Prozesse stellen.

ARTIKEL 6 UND ARTIKEL 17

- Art. 6, der die gemeinsame Umsetzung von Maßnahmen zwischen Industriestaaten regelt, könnte eine Anrechnung von Senken in anderen Industriestaaten ermöglichen, die über Art. 3 Abs. 3 im jeweils eigenen Land ausgeschlossen ist. Damit würden sich die Risiken und Unwägbarkeiten, die mit der Anrechnung biologischer Quellen und Senken verbunden sind, deutlich erhöhen. Die gleichen Risiken und Unwägbarkeiten könnten sich auch durch den Handel mit Emissionszertifikaten (Art. 17) ergeben.

ARTIKEL 12

- Möglicherweise können sich Industrieländer Aufforstungsprojekte in Entwicklungsländern anrechnen lassen (Art. 12). Dies würde einen Anreiz zur Abholzung von Primärwäldern geben, sofern die durch Rodung verursachten Emissionen keinem Staat angerechnet würden.

Das Kyoto-Protokoll und damit verbundene weitere Regelungen lassen einen gewissen Spielraum in der Auslegung, in der Konkretisierung und in der Fortentwicklung des Regelwerks. Dringend notwendig ist eine Erweiterung und Ergänzung der IPCC-Richtlinien. Der Beirat empfiehlt zudem, die gemäß

Art. 7 Abs. 4 noch zu beschließenden Richtlinien dazu zu nutzen, die drohende Unterminierung des Klimaschutzes und Beeinträchtigung terrestrischer Ökosysteme abzuwehren und zu minimieren, aber gleichzeitig vorhandene Chancen für den Senkenschutz abzusichern und auszubauen. Dabei ist auch zu berücksichtigen, daß die Reduktionsziele möglichst wenig durch die Art der Verrechnung verwässert werden. Im einzelnen empfiehlt der Beirat:

- Es sollten keine weiteren Senken über Art. 3 Abs. 4 angerechnet werden, weil damit die Unsicherheiten bei der Verifizierung steigen und die Reduktionsverpflichtung für die Emissionen aus fossilen Energieträgern weiter abgeschwächt wird.
- Über die gemeinsame Umsetzung von Maßnahmen in anderen Industrieländern (Art. 6) sollte keine Anrechnung von Senken möglich sein, die über Art. 3 Abs. 3 im eigenen Land ausgeschlossen sind.
- Verpflichtungszeiträume müssen ohne Lücke aufeinanderfolgen, damit keine Anreize zur Abholzung gegeben werden.
- Wenn biologische Quellen und Senken angerechnet werden, muß die Zerstörung bedeutender biologischer Speicher (Primärwälder, Feuchtgebiete) berücksichtigt werden.
- Damit keine Anreize zur Abholzung gegeben werden, sollte Wiederaufforstung nur dann angerechnet werden, wenn Pflanzungen auf Flächen, die 1990 keinen Wald trugen, erfolgen.
- (Wieder-)Aufforstungen sollten nur dann angerechnet werden, wenn der langfristige Bestand der Wälder gewährleistet ist.
- Die bei Umwandlung von Primär- in Sekundärwälder entstehenden Emissionen müssen angerechnet werden.
- Eine Anrechnung von Entwaldung sollte auch Degradation von Wäldern mit einschließen.
- In die Bilanz der Kohlenstoffvorräte terrestrischer Ökosysteme müssen neben der oberirdischen Biomasse auch die Bodenkohlenstoffvorräte (organische Auflage und Mineralboden) und die unterirdische Biomasse eingehen.
- Die Anrechnung von Senkenprojekten in Entwicklungsländern auf die Verpflichtungen von Industriestaaten (Art. 12) sollte zumindest so lange ausgeschlossen bleiben, solange die Entwicklungsländer nicht in die Verpflichtungen zur Emissionsbegrenzung und -reduktion einbezogen worden sind und solange die bestehenden Unsicherheiten in der Verifizierung von Senkenwirkungen in Entwicklungsländern nicht geklärt worden sind.

Auf der dritten Vertragsstaatenkonferenz zur UNFCCC 1997 in Kyoto wurde das Kyoto-Protokoll zur UN-Klimarahmenkonvention (UNFCCC) verabschiedet (Kyoto-Protokoll, 1997). Es enthält erstmals quantifizierte rechtlich verbindliche Verpflichtungen zur Begrenzung und Minderung der Emission von Treibhausgasen. Die in Anlage I der Klimarahmenkonvention aufgeführten Staaten (Industriestaaten) müssen, wenn sie das Protokoll ratifizieren, ihre Emission von sechs Treibhausgasen bis zum Zeitraum 2008–2012 um mindestens 5%, bezogen auf 1990, reduzieren.

Die Unterzeichnung des Kyoto-Protokolls sieht der Beirat als einen entscheidenden Schritt vorwärts auf dem Weg zur weltweiten Reduktion der Kohlendioxidemissionen und darüber hinaus als den solidarisches Einstieg in einen globalen Klimaschutz im Sinne einer „good global governance“. Der Erfolg des Protokolls kann weniger an der Höhe der Reduktionen gemessen werden, die für die kommende Verpflichtungsperiode vereinbart wurde, als vielmehr in der grundsätzlichen Anerkennung durch alle Vertragsstaaten, daß die CO₂-Emissionen weltweit gesenkt werden müssen. Die Zustimmung aller Länder wurde dadurch erwirkt, daß in Teilen biologische Senken, die in der Berechnungszeit aufgebaut werden, mit in die Bilanz einbezogen werden können. Dieses an sich richtige und zu begrüßende Verfahren birgt allerdings einige Gefahren, weil aufgrund der Verrechnungsmodi und der Schwierigkeiten, die Senken zu verifizieren, auch die Möglichkeit des Mißbrauchs besteht. Damit das angestrebte Ziel der als notwendig erachteten Reduktion der CO₂-Emissionen aus fossilen Energieträgern nicht unterlaufen wird, legt der Beirat in diesem Gutachten eine Analyse der Anrechenbarkeit biologischer Senken vor und leitet daraus Empfehlungen für politisches Handeln ab.

Reduziert werden müssen laut Art. 3 Abs. 1 des Kyoto-Protokolls Emissionen aus den in Anlage A aufgeführten Sektoren, und zwar Energie (einschließlich Verkehr), Industrie, Landwirtschaft und Abfallbehandlung. Der Sektor der Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft wird nicht in Anlage A

genannt, obwohl er sowohl Quellen (zum Beispiel als Folge der Abholzung von Wäldern oder des Trockenlegens von Feuchtgebieten) als auch Senken (zum Beispiel das Aufforsten von degradierten Flächen) für Kohlendioxid und andere Treibhausgase beinhalten kann. Allerdings werden nach Art. 3 Abs. 3 Änderungen in den Netto-Emissionen eines Landes, die durch seit 1990 erfolgte Aufforstungen, Wiederaufforstungen und Entwaldungen bewirkt werden, auf die Reduktionspflichten angerechnet. Zunächst ist also die Anrechnung von Quellen und Senken im Bereich Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft auf diese drei Maßnahmen beschränkt. Doch die Vertragsstaaten des Kyoto-Protokolls sollen darüber hinaus die Anrechnung zusätzlicher Aktivitäten in den Bereichen landwirtschaftliche Böden, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft beschließen (Art. 3 Abs. 4).

Die Verrechnung von Quellen und Senken terrestrischer Ökosysteme mit Verpflichtungen zur Reduktion von Emissionen war während der Verhandlungen für das Kyoto-Protokoll äußerst umstritten, nicht zuletzt weil Quellen und Senken, die durch menschliche Tätigkeiten in terrestrischen Ökosystemen (Landnutzungsänderungen, Land- und Forstwirtschaft) entstehen oder verändert werden, nur mit großen Unsicherheiten abgeschätzt werden können.

Der Beirat analysiert zunächst die Regelungen des Kyoto-Protokolls zur Verrechnung der menschlichen Tätigkeiten in der Landnutzungsänderung, Landwirtschaft und Forstwirtschaft. Daraufhin wird der Wissensstand über die Quellen- und Senkentialentiale terrestrischer Ökosysteme sowie über die bestehenden Unsicherheiten und offenen Fragen dargestellt. Dies ist die Grundlage für eine Bewertung der Regelungen im Kyoto-Protokoll. Daraus ergeben sich Empfehlungen für die Interpretation und konkrete Handhabung dieser Regelungen sowie für die Folgeverhandlungen.

3 Analyse des Kyoto-Protokolls

Nach Art. 3 Abs. 1 Kyoto-Protokoll (die englische Originalfassung findet sich in Anhang 2) müssen die Industrieländer dafür sorgen, daß die Emissionen der sechs in Anlage A genannten Treibhausgase (siehe Seite 67) aus den dort angeführten Sektoren (Energie, Industrie, Landwirtschaft, Abfallbehandlung) nicht die ihnen zugeteilte Menge (assigned amount) überschreiten. Diese zugeteilte Menge berechnet sich im ersten Verpflichtungszeitraum (2008–2012) als ein prozentualer Anteil der gesamten anthropogenen Emissionen dieses Landes im Jahr 1990, multipliziert mit fünf (da der Verpflichtungszeitraum fünf Jahre umfaßt) (Art. 3 Abs. 7). Für die einzelnen Länder wurden unterschiedliche Prozentsätze vereinbart (beispielsweise 92% für die EU-Staaten). Sie sind in Anlage B des Protokolls aufgeführt (siehe Seite 67).

Für die Einbeziehung der Senken und Quellen aus dem Bereich „Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“ in die Verpflichtungen der Industrieländer sind insbesondere zwei Regelungen des Kyoto-Protokolls relevant:

- Nach Art. 3 Abs. 3 werden Quellen und Senken im Bereich Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft angerechnet, wenn sie sich aus den explizit genannten direkten menschlichen Tätigkeiten „Aufforstung“, „Wiederaufforstung“ und „Entwaldung“ (seit 1990) ergeben.
- Darüber hinaus kann die Vertragsstaatenversammlung des Protokolls nach Art. 3 Abs. 4 beschließen, zusätzliche menschliche Tätigkeiten in den Bereichen „landwirtschaftliche Böden“ und „Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“ zu berücksichtigen.

Das Berechnungsverfahren zur Berücksichtigung von Quellen und Senken aus verschiedenen Sektoren geht aus Art. 3 Abs. 7 hervor. Darüber hinaus sind folgende Artikel relevant:

- Art. 5 Abs. 1 und 2 regelt die für die Anrechnung anzuwendenden Methoden. Er bezieht sich insbesondere auf die vom Zwischenstaatlichen Ausschuß über Klimaänderungen (IPCC) ausgearbeiteten Richtlinien zu den Treibhausgasinventaren.
- Art. 7 Abs. 4 beauftragt die Vertragsstaatenversammlung des Protokolls, Richtlinien für die Vor-

bereitung der für die Erfüllung der Verpflichtungen notwendigen Informationen aufzustellen und Modalitäten für die Anrechnung zu beschließen.

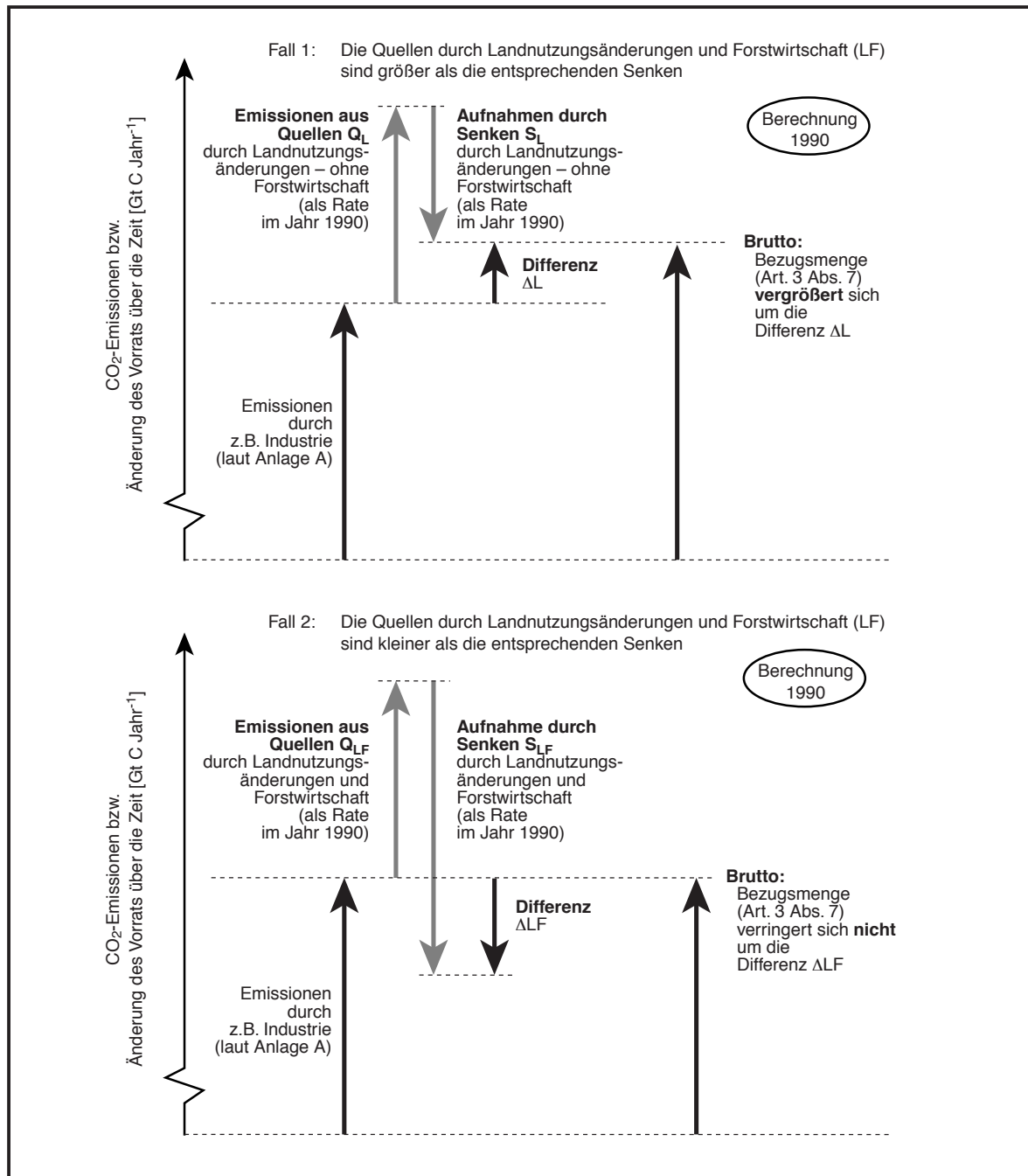
- Die gemeinsame Umsetzung von Maßnahmen in Industrieländern, die nach Art. 6 möglich ist, betrifft ausdrücklich auch Projekte zur Schaffung von Senken. Im Gegensatz dazu ist noch unklar, ob Senken auch einbezogen werden in den in Art. 17 grundsätzlich vereinbarten Handel mit Emissionszertifikaten (emissions trading) oder in der gemeinsamen Umsetzung von Projekten zwischen Industrie- und Entwicklungsländern (Art. 12).

3.1

Berechnungsverfahren

Die *Bezugsmenge* (Emissionen im Jahr 1990) für die Berechnung der im Verpflichtungszeitraum (2008–2012) zugeteilten Menge an Emissionen ist in Art. 3 Abs. 7 in Verbindung mit Anlage A definiert: Sie ist die Summe aller Emissionen der in Anlage A genannten sechs Treibhausgase aus den dort angeführten Sektoren (Energie, Industrie, Landwirtschaft und Abfallbehandlung). Es handelt sich hier um *Brutto-Emissionen*, da nur Quellen, jedoch keine Senken einbezogen werden. Insbesondere werden weder Quellen noch Senken im Bereich „Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“ berücksichtigt, da dieser Bereich nicht in Anlage A aufgeführt wird. Eine Ausnahme gilt für solche Staaten, für die Quellen und Senken sich in diesem Bereich im Jahr 1990 zu einer Netto-Quelle summierten. Dies trifft gemäß den vorliegenden Nationalberichten der Industrieländer (UNFCCC, 1997a) (Anhang Tab. 1) auf Australien und in geringem Maße auch auf Großbritannien zu. Diese Staaten addieren sowohl Emissionen als auch die Aufnahmen durch Senken im Bereich „Landnutzungsänderung“ zur Bezugsmenge hinzu (Abb. 1). Für Australien erhöht sich durch diese Sonderregelung die Bezugsmenge um etwa 30%.

Die erlaubte, also *zugeteilte Menge* (assigned amount) an Emissionen berechnet sich als *prozentualer Anteil dieser Bezugsmenge*. Je höher also die

**Abbildung 1**

Berechnung der Bezugsmenge (1990): Dargestellt ist das Verfahren zur Berechnung der Bezugsmenge für die Reduktionsverpflichtungen der Industriestaaten (Artikel 3 Absatz 7 Kyoto-Protokoll). Fall 1: Wenn der Bereich „Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“ für einen Industriestaat eine Netto-Quelle darstellt (dies trifft für Australien und in geringem Maße für Großbritannien zu), dann berechnet sich die Bezugsmenge als Summe aller Emissionen aus den in Anlage A des Kyoto-Protokolls aufgeführten Sektoren (Energie, Industrie, Landwirtschaft und Abfallwirtschaft) und der Differenz zwischen Quellen und Senken im Bereich „Landnutzungsänderung“. Zu beachten ist, daß hier die Forstwirtschaft außer acht gelassen wird. Die wichtigste Quelle im Bereich Landnutzungsänderung ist die Entwaldung. Fall 2: Für andere Staaten, für die der Bereich „Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“ insgesamt eine Netto-Senke darstellt (das trifft auf die meisten Industriestaaten zu), verringert sich die Bezugsmenge nicht um diese Differenz.
Quelle: WBGU

Bezugsmenge ist, desto mehr darf ein Staat bei gleichem Prozentsatz (nach Anlage B) emittieren.

Art. 3 enthält zusätzlich eine Reihe von Regelungen, wonach sich die einem Industriestaat zugeteilte Menge, also die erlaubte Menge an Brutto-Emissionen, verändert, indem bestimmte Emissionen aus biologischen Quellen und Aufnahmeprozesse durch biologische Senken oder erzielte Reduktionen in anderen Industriestaaten oder in Entwicklungsländern angerechnet werden.

Nach Art. 3 Abs. 3 werden einem Industrieland Quellen und Senken im Bereich Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft, begrenzt auf die Tätigkeiten „Aufforstung“, „Wiederaufforstung“ und „Entwaldung“ seit 1990 (sogenannter „Kyoto-Wald“, siehe Glossar), angerechnet, soweit sie als Bestandsänderung im Verpflichtungszeitraum 2008–2012 meßbar sind. Wenn in einem Industrieland durch Aufforstung, Wiederaufforstung und Entwaldung mehr Kohlendioxid aufgenommen als emittiert wird, summieren sich die nach Art. 3 Abs. 3 angerechneten biologischen Quellen und Senken zu einer Netto-Senke (Abb. 2). Diese Netto-Senke (gemessen als Bestandsänderung der Kohlenstoffvorräte im Verpflichtungszeitraum 2008–2012) erhöht die Menge an erlaubten Brutto-Emissionen (assigned amount). Ergibt sich umgekehrt eine Netto-Quelle, vermindert sich die Menge an erlaubten Brutto-Emissionen entsprechend (Abb. 3). Diese Auslegung von Art. 3

Abs. 3 wurde durch eine Entscheidung der SBSTA (Nebenorgan der FCCC) bestätigt (UNFCCC, 1998). In dieser Entscheidung wird auch festgestellt, daß „since 1990“ die Tätigkeiten ab 1.1.1990 einschließen. Dies ist bedauerlich, weil so die Aufnahmekapazitäten der Senken, die im Jahr 1990 geschaffen wurden, in dem Umfang wie sie bereits in diesem Jahr existierten, im Verpflichtungszeitraum angerechnet würden, ohne bei der Berechnung der Bezugsmenge Berücksichtigung zu finden. Eine entsprechende Netto-Senke im Jahr 1990 wird bei der Berechnung der Bezugsmenge nicht berücksichtigt.

Damit entspricht das Berechnungsverfahren einem Vergleich von Netto-Emissionen im Verpflichtungszeitraum (2008–2012) mit Brutto-Emissionen im Bezugsjahr (1990). Dies vergrößert im Falle einer Netto-Senke die Menge der erlaubten Emissionen (Fuentes et al., 1998).

Folgt man den Nationalberichten, die die Anlage I-Staaten vorgelegt haben, so variiert der Anteil aller durch menschliche Tätigkeiten geschaffenen Netto-Senken an den nationalen Emissionen (1990) zwischen nur 1% (beispielsweise für die Niederlande) und 81% (Neuseeland) (UNFCCC, 1997a) (Anhang Tab. 1). Für Deutschland beträgt der Anteil nur 3%. Welcher Anteil dieses Bereichs im Rahmen von Art. 3 Abs. 3 und Abs. 4 angerechnet werden wird, ist offen. Je mehr Tätigkeiten zur Schaffung von Senken in Zukunft nach Art. 3 Abs. 4 angerechnet werden, de-

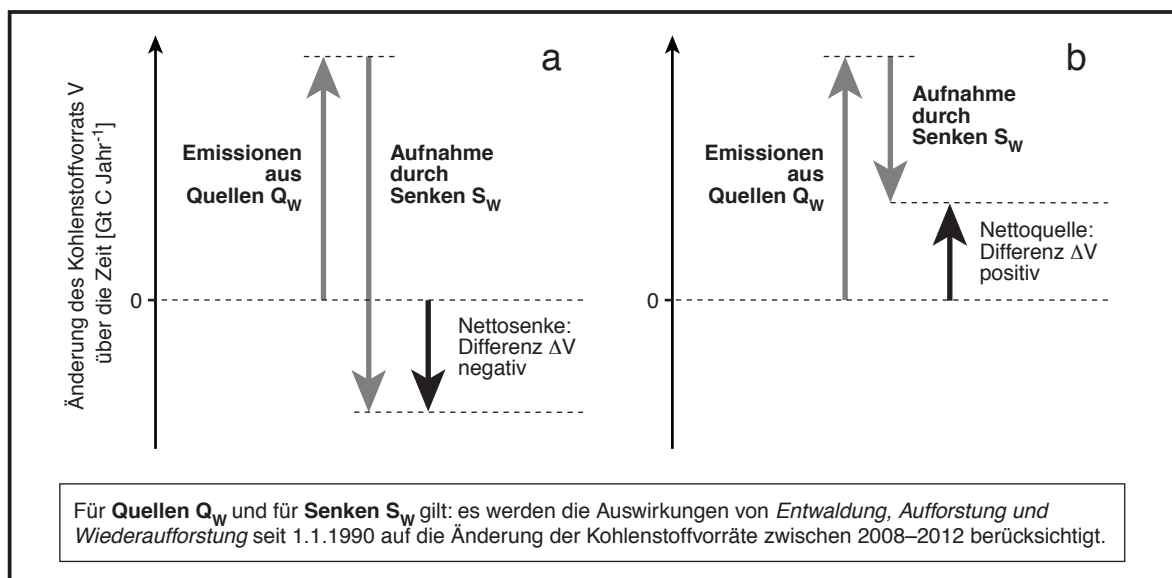
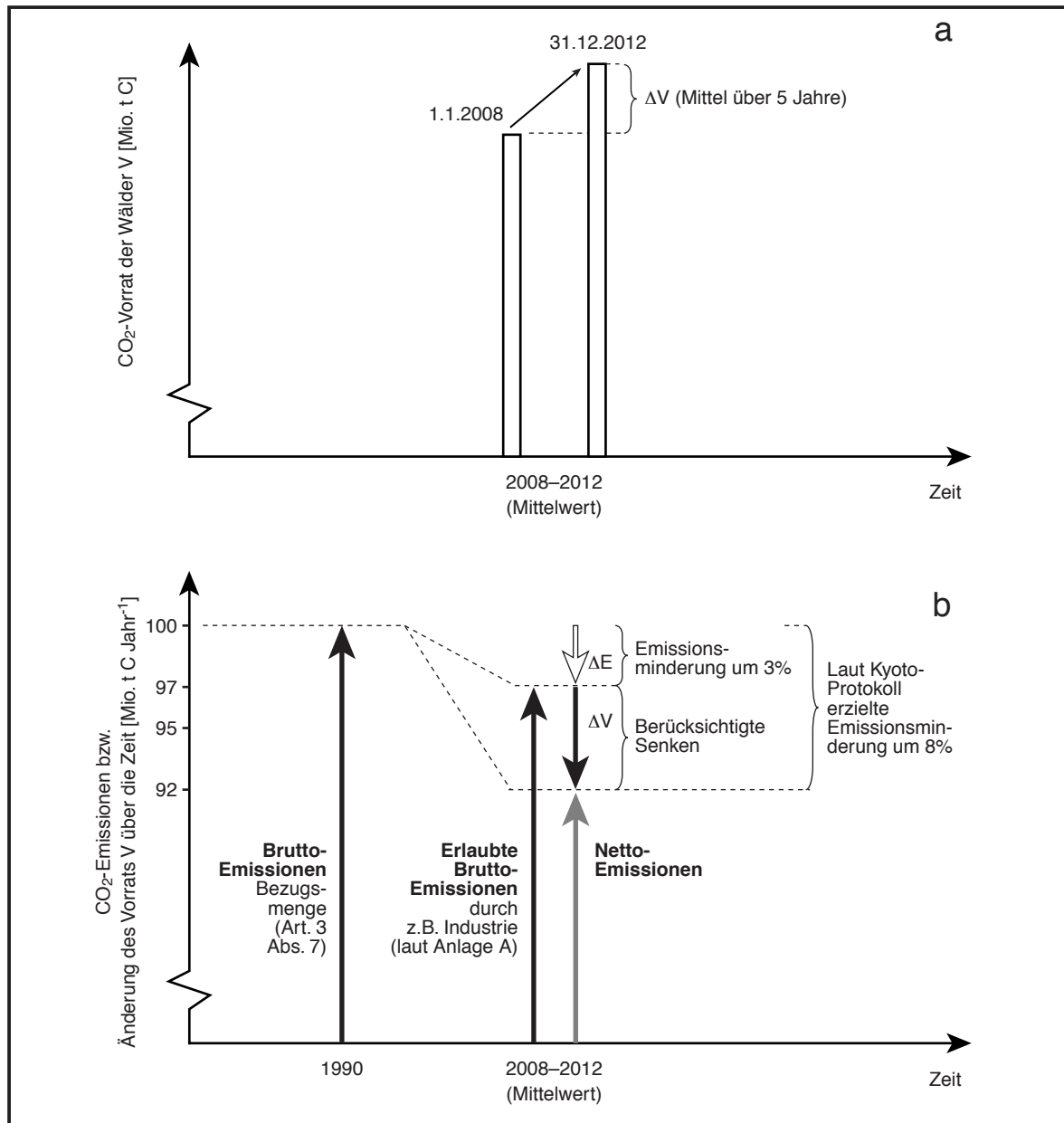


Abbildung 2

Anrechnung biologischer Quellen und Senken nach Art. 3 Abs. 3: (a) Die Differenz zwischen den Emissionen aus Quellen und der Aufnahme durch Senken als Folge von seit 1990 erfolgten Aufforstungen, Wiederaufforstungen und Entwaldungen ergibt im dargestellten Fall im Verpflichtungszeitraum 2008–2012 eine Netto-Senke. (b) Überwiegen die Emissionen durch Entwaldung seit 1990, so ergibt sich eine Netto-Quelle. Die Differenz führt zu einer Änderung in den Kohlenstoffvorräten im Verpflichtungszeitraum 2008–2012 (siehe Abb. 3).

Quelle: WBGU

**Abbildung 3**

Anrechnung von biologischen Senken und Quellen im Kyoto-Protokoll: Dargestellt ist das Verfahren zur Anrechnung von biologischen Quellen und Senken auf die Reduktionsverpflichtungen der Industriestaaten (Art. 3 Abs. 3 Kyoto-Protokoll) anhand eines Beispiels für einen fiktiven Staat. (a) Es wird angenommen, daß sich die Kohlenstoffvorräte durch seit 1990 erfolgte Aufforstung, Wiederaufforstung und Entwaldung im Mittel über die fünf Jahre des Verpflichtungszeitraums (2008–2012) jährlich um die Menge ΔV erhöhen. (b) Zusätzlich wird angenommen, daß der Staat laut Kyoto-Protokoll seine Emissionen um 8% der Brutto-Emissionen 1990 reduzieren muß. Im Verpflichtungszeitraum 2008–2012 wird dem Staat der Zuwachs des Kohlenstoffvorrats, der auf Aufforstungen, Wiederaufforstungen und Entwaldungen seit 1990 zurückzuführen ist, nach Artikel 3 Absatz 3 angerechnet. Das heißt, die erlaubten Brutto-Emissionen im Verpflichtungszeitraum erhöhen sich um jährlich ΔV – die Reduktionsverpflichtung vermindert sich damit um 5%. Somit ergibt das Berechnungsverfahren eine Reduktionsverpflichtung der Brutto-Emissionen um nur 3%.
Quelle: WBGU

sto mehr vergrößert sich die erlaubte Emissionsmenge. Staaten, für die der Anteil der anrechenbaren Senken gering ist, sind gegenüber anderen Staaten durch dieses Berechnungsverfahren benachteiligt.

Zur zugeteilten Menge (assigned amount) an Brutto-Emissionen werden schließlich Emissionsreduktionseinheiten (emission reduction units, Art. 3 Abs. 10 und 11) bzw. Teile einer zugeteilten Menge hinzugerechnet oder abgezogen, die ein Staat durch gemeinsame Umsetzung von Maßnahmen in einem anderen Industrieland (nach Art. 6) oder durch Handel mit Emissionszertifikaten (Art. 17) erwirbt bzw. abgibt. Auch die nach Art. 12 in Entwicklungsländern erwerbbar zertifizierten Emissionsreduktionen werden zu der zugeteilten Menge an Emissionen hinzugerechnet. Auf diese Möglichkeiten wird unten ausführlicher eingegangen.

3.1.1

Zukünftige Verpflichtungszeiträume

Die in Art. 3 Abs. 1 festgelegte Verpflichtung der Industrieländer zur Reduktion der Emissionen um insgesamt mindestens 5% (bezogen auf 1990) bezieht sich nur auf den ersten Verpflichtungszeitraum 2008–2012. Auch das in Art. 3 Abs. 7 beschriebene Berechnungsverfahren ist für diesen ersten Verpflichtungszeitraum gültig. In Art. 3 Abs. 9 wird die Vereinbarung von Verpflichtungen für nachfolgende Zeiträume (subsequent periods) geregelt. Diese müssen durch Änderung der Anlage B des Protokolls festgelegt werden. In Anlage B des Protokolls sind die Reduktionsquoten für die einzelnen Industriestaaten aufgeführt. Fraglich ist, ob damit vorausgesetzt wird, daß das in Art. 3 Abs. 7 festgelegte Berechnungsverfahren auch für nachfolgende Verpflichtungszeiträume gültig ist. Art. 3 Abs. 3, der die Anrechnung von Quellen und Senken im Bereich Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft regelt, bezieht sich auf alle Verpflichtungszeiträume („each commitment period“).

Die Verpflichtungszeiträume müssen lückenlos aufeinander folgen. Dies ist eine unabdingbare Voraussetzung für Verifizierbarkeit und Effektivität der Reduktionsmaßnahmen.

Spätestens sieben Jahre vor dem Ende des ersten Verpflichtungszeitraums, also spätestens 2005, müssen die Vertragsstaaten die Erörterung von Verpflichtungen für nachfolgende Zeiträume einleiten.

Nach Art. 3 Abs. 13 können die Vertragsstaaten den Anteil an Emissionsreduktionen, den sie über die Verpflichtung hinaus in einem Verpflichtungszeitraum erzielen, zu der ihnen zugeteilten Menge für nachfolgende Verpflichtungszeiträume hinzurechnen. Damit ist das sogenannte „banking“ er-

laubt, also die Möglichkeit, Verpflichtungen für zukünftige Zeiträume vorzeitig zu erfüllen. Das Gegenteil, also die Erfüllung von Reduktionspflichten in zukünftige Zeiträume zu verschieben („borrowing“), ist hingegen nicht möglich.

3.2

Anrechnung von Aufforstung, Wiederaufforstung und Entwaldung (Artikel 3 Absatz 3)

Wie schon erläutert, regelt Art. 3 Abs. 3 die Anrechnung von biologischen Quellen und Senken auf die Verpflichtungen der Industrieländer. Allerdings können nur die Auswirkungen der seit 1990 erfolgten Tätigkeiten „Aufforstung“, „Wiederaufforstung“ und „Entwaldung“ auf die Emissionen in den Jahren 2008–2012 angerechnet werden. Diese Auswirkungen werden als nachprüfbar Bestandsänderung der Kohlenstoffvorräte im Verpflichtungszeitraum (2008–2012) gemessen („measured as verifiable changes in carbon stocks in each commitment period“). Das heißt, in den Jahren 2008–2012 muß Buch geführt werden über den Anteil an den Änderungen des Kohlenstoffbestands, der auf das Wachstum von seit 1990 gepflanzten Wäldern (Aufforstung und Wiederaufforstung) sowie auf seit 1990 erfolgte Entwaldungen zurückgeführt werden kann. Auswirkungen von beispielsweise Entwaldungen oder Aufforstungen, die vor 1990 erfolgten, sollen jedoch nicht in die Bemessung eingehen – selbst wenn sie vorhanden und meßbar sind. Bestandsänderungen sollen also nur für die Flächen verrechnet werden, auf denen seit 1990 Aufforstungen, Wiederaufforstungen oder Entwaldungen erfolgten („Kyoto-Wald“).

Die Formulierung in Art. 3 Abs. 3 läßt eine Reihe von Fragen offen:

- Welche Änderungen im Kohlenstoffbestand sind *nachprüfbar* („verifiable“)? Sollen nur oberirdische Biomassebestände berücksichtigt werden oder auch die Kohlenstoffvorräte in den Böden?
- Wie sollen Bestandsänderungen im Verpflichtungszeitraum *gemessen* oder berechnet werden, um vergleichbare Größen zu erhalten? Gibt es praktikable Verrechnungsverfahren, die auf alle Staaten (also auch verschiedene Klimazonen, Bodentypen und Vegetationstypen) angewendet werden können?
- Wie werden die Tätigkeiten „Aufforstung“, „Wiederaufforstung“, und „Entwaldung“ definiert? Wie wird insbesondere Wiederaufforstung von forstwirtschaftlicher Abholzung und Wiederbepflanzung abgegrenzt? Wird die Umwandlung von Primärwäldern in Plantagen berücksichtigt?
- Wie kann der Einfluß *direkter menschlicher Tätigkeiten* („direct human-induced activities“) bei

„Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“ von natürlichen Einflüssen und Faktoren getrennt werden, etwa bei Waldbränden?

- Wie genau sollen die Netto-Änderungen in den Emissionen und in der Aufnahme von Treibhausgasen durch die genannten Tätigkeiten auf die Erfüllung der Verpflichtungen *angerechnet* werden („shall be used to meet the commitments“)? Können bestehende Unsicherheiten und auch die Rolle von unterschiedlichen Zeitskalen etwa dadurch berücksichtigt werden, daß bestimmte Diskontierungsverfahren eingeführt werden oder indem die insgesamt anzurechnende Änderung, die sich aus diesen Tätigkeiten ergibt, auf eine maximale Menge begrenzt wird?
- Sollen reale Bestandsänderungen im Verpflichtungszeitraum angerechnet werden oder die mittleren Bestandsvorräte – gemittelt über die Umtriebszeit der jeweiligen Waldökosysteme – berücksichtigt werden?
- Soll die Berechnung der Kohlenstoffvorräte auch die Lebensdauer und Verwendung von Ernteprodukten (Brennholz, Herstellung von Papier, Bauholz, Möbeln) berücksichtigen?

Hinweise auf die Beantwortung dieser Fragen liefert Art. 3 Abs. 3 in Verbindung mit Art. 7: Die Emissionen aus Quellen und die Aufnahme durch Senken, die mit den oben genannten Tätigkeiten verbunden ist, sollen in Übereinstimmung mit Art. 7 und 8 „transparent und verifizierbar“ berichtet und geprüft werden. Art. 7 regelt die Erstellung von nationalen Berichten der Anlage-I-Staaten, die unter anderem jährliche Inventare der Treibhausgasemissionen und -aufnahmen enthalten. Art. 8 regelt die Überprüfung der nationalen Berichte durch Expertenteams.

3.2.1

Nationalberichte und Treibhausgasinventare (Artikel 7 und 5)

Die Vertragsstaaten der Klimarahmenkonvention müssen nationale Inventare der Emissionen durch Quellen und der Aufnahme durch Senken erstellen (Art. 4 Abs. 1 UNFCCC) und in bestimmten Zeitabständen Nationalberichte vorlegen (Art. 12 UNFCCC). Nach Art. 7 müssen die Anlage-I-Staaten in die Nationalberichte und in die Inventare die zusätzliche Information einfügen, die notwendig ist, um die Erfüllung ihrer Pflichten nach dem Kyoto-Protokoll zu gewährleisten bzw. nachzuweisen (Art. 7 Abs. 1 und 2). Art. 7 Abs. 4 besagt, daß die Vertragsstaatenkonferenz zur Klimarahmenkonvention, die als Vertragsstaatenversammlung zum Kyoto-Protokoll dient (Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties, COPsmoP) auf ihrer ersten Sit-

zung Richtlinien zur Vorbereitung dieser Informationen erstellt. Auch soll die COPsmoP vor Beginn des ersten Verpflichtungszeitraums über Modalitäten zur Berechnung der zugeteilten Mengen entscheiden. Mit Hilfe dieser zu beschließenden Richtlinien und Modalitäten ließe sich konkretisieren, wie die Anrechnung von Maßnahmen zur Aufforstung, Wiederaufforstung und Entwaldung nach Art. 3 Abs. 3 ausgestaltet wird.

Zusätzlich besagt Art. 5 des Protokolls, daß die Anlage-I-Staaten bis spätestens 2007 ein nationales System zur Abschätzung der anthropogenen Emissionen aus Quellen und des Abbaus durch Senken errichten sollen. Die erste COPsmoP wird über die Richtlinien für diese nationalen Systeme entscheiden. Nach Art. 5 Abs. 2 soll diese Abschätzung mit den vom IPCC akzeptierten und von der 3. Vertragsstaatenkonferenz zur Konvention (1997) vereinbarten Methoden erfolgen. Es handelt sich dabei um die 1996 überarbeiteten IPCC-Richtlinien für die Erstellung von Treibhausgasinventaren (IPCC, 1997; UNFCCC, 1997b). Diese Methoden und ihre Anpassungen sollen durch die COPsmoP regelmäßig überprüft und entsprechend überarbeitet werden. Allerdings kann die Überarbeitung nur für die Verpflichtungszeiträume genutzt werden, die nach der Überarbeitung beschlossen wurden (Art. 5 Abs. 2 Satz 4). Damit kann eine Überarbeitung nicht für den bereits beschlossenen ersten Verpflichtungszeitraum 2008–2012 genutzt werden.

3.2.2

Die IPCC-Richtlinien

Die IPCC-Richtlinien für die nationalen Treibhausgasinventare dienen den Vertragsstaaten der Klimarahmenkonvention als Anleitung für die nach Art. 4 Abs. 1 FCCC zu erstellenden Inventare ihrer anthropogenen Emissionen durch Quellen und Aufnahmen durch Senken. Insbesondere sollen vergleichbare Methoden und Berichtssysteme bereitgestellt werden. Sie werden seit 1991 durch das IPCC in Zusammenarbeit mit OECD und IEA unter Beteiligung von Experten aus verschiedenen Ländern erarbeitet. Die 1996 überarbeiteten Richtlinien (IPCC, 1997), die schon die Basis für die zweiten Nationalberichte der Anlage-I-Staaten waren, sollen nun auch als Grundlage für die Berechnung der anzurechnenden Senken dienen (Art. 5 Abs. 2 Kyoto-Protokoll).

Die IPCC-Richtlinien geben jeweils Mindestanforderungen an Berechnungsverfahren und ihre zugrundeliegenden Annahmen sowie an die Feinheit der Untergliederung und Detaillierung an. Allerdings wird immer wieder darauf hingewiesen, daß so-

weit wie möglich bessere Methoden, Daten und Annahmen verwendet werden sollen. Insbesondere wird im Bereich Landnutzungsänderung und Forst betont, daß die Mindestanforderungen keineswegs eine realistische Abschätzung der tatsächlichen Quellen und Senken erlauben, etwa weil viele Prozesse (beispielsweise im Boden) nicht angemessen berücksichtigt werden. Ein vom FCCC-Sekretariat vorgenommener Vergleich der Nationalberichte zum Bereich Landnutzungsänderung und Forst (UNFCCC, 1997a) zeigt dementsprechend, daß diese kaum vergleichbar sind, da sie auf sehr unterschiedlichen Berechnungsverfahren und Datenquellen beruhen. Auch wird an vielen Stellen auf erhebliche Unsicherheiten und Fehlerquellen hingewiesen.

Die IPCC-Richtlinien für den Bereich Landnutzungsänderung und Forst sind in der bestehenden Form nicht als Grundlage für die Umsetzung und Überprüfung rechtlich verbindlicher Verpflichtungen formuliert worden (Bolin, 1998). So wird im Vorwort der 1996 erweiterten Richtlinien ausdrücklich darauf hingewiesen, daß in diesem Bereich an einer Erweiterung der Methoden gearbeitet werden soll (IPCC, 1997). Es stellt sich also die Frage, inwieweit sie in der vorliegenden Form geeignet sind, nach Art. 5 des Kyoto-Protokolls Methoden für die Erfüllung der Verpflichtungen bereitzustellen (Fuentes et al. 1998).

Im Sektor Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft werden nach den IPCC-Richtlinien nur Inventare für Kohlendioxid aufgestellt, andere Treibhausgase werden nicht berücksichtigt. Folgende Definitionen und Verfahren, die für Art. 3 Abs. 3 des Kyoto-Protokolls bedeutsam sind, finden sich in den IPCC-Richtlinien:

Unter *Aufforstung* (afforestation) werden im Glossar zu den IPCC-Richtlinien neue Pflanzungen auf Gebieten verstanden, auf denen „historisch“ kein Wald existierte. Unter *Wiederaufforstung* (reforestation) wird das Anpflanzen von Wäldern auf Gebieten verstanden, auf denen „historisch“ Wälder vorhanden waren, die aber zwischenzeitlich anders genutzt wurden. An anderer Stelle (wo es um die Definition von Plantagen geht) wird der Unterschied zwischen Aufforstung und Wiederaufforstung genauer definiert: Demnach handelt es sich dann um Aufforstungen, wenn die Böden seit 50 Jahren keine Wälder trugen. Wiederaufforstungen sind demgegenüber Pflanzungen auf Böden, auf denen innerhalb der 50 Jahre zuvor bereits Wälder standen (IPCC, 1997). Beide Tätigkeiten werden unter die Kategorie forstwirtschaftliche Maßnahmen („changes in forest and other woody biomass stocks“) eingeordnet, wo nur die Änderung der oberirdischen Biomasse inventarisiert wird (als jährliches Wachstum abzüglich der geernteten Biomasse). Änderungen im Kohlenstoffbe-

stand der Böden, auch in den Jahren nach der Aufforstung, werden nach dem IPCC-Standardverfahren nicht berücksichtigt. Für die Anwendung der IPCC-Richtlinien zur Umsetzung der Verpflichtungen nach dem Kyoto-Protokoll ergibt sich die Notwendigkeit einer getrennten Buchführung des jährlichen Wachstums für Wälder, die nach 1990 gepflanzt wurden, und solche, die schon vor diesem Jahr bestanden.

Offen ist die Frage, ob Naturverjüngungen (natürliche Regeneration von Wäldern, siehe Glossar) als Senke angerechnet werden können. Eine Definition oder explizite Anleitung wird in den Richtlinien nicht gegeben. Da eine Naturverjüngung keine aktive Maßnahme zur Schaffung von Senken ist und es sich, nach dem Wortlaut der IPCC-Richtlinien, bei Wiederaufforstungen um *Pflanzungen* von Wäldern handelt („... planting of forests on lands which, ...“), ist eine Anrechnung von Naturverjüngungen vermutlich nicht vorgesehen.

Entwaldungen sind nach den IPCC-Richtlinien Umwandlungen von Wäldern in andere Nutzungen (Weide, Ackerbau und andere). Grundsätzlich sollen zeitlich verzögerte Effekte einer Entwaldung etwa auf den Kohlenstoffvorrat im Boden berücksichtigt werden. Zur Berechnung der Auswirkungen einer Entwaldung in einem vorangegangenen Jahr auf den Kohlenstofffluß im Inventarjahr (etwa in einem Verpflichtungsjahr) werden neben der Netto-Änderung des in der oberirdischen Biomasse gebundenen Kohlenstoffs, die im Inventarjahr gemessen oder berechnet wird, folgende Bestandsänderungen berücksichtigt:

- Die im ersten Jahr verbrannte oder entnommene Biomasse wird in diesem Jahr als Emission inventarisiert (dieser Anteil ist im allgemeinen der weitestgrößte).
- Es wird angenommen, daß ein Teil der verbrannten Biomasse langfristig in Form von Holzkohle gebunden wird.
- Es wird angenommen, daß die restliche, auf der Fläche verbleibende Biomasse in einem Zeitraum von zehn Jahren verrottet. In den Inventuren der zehn Jahre, die auf die Entwaldung folgen, wird also jeweils ein Zehntel der so abgebauten Biomasse als Emission inventarisiert.
- Es wird angenommen, daß die Abbauprozesse im Boden, die nach dem Abholzen oder Verbrennen eines Waldes zu einer Verringerung der Bodenvorräte führen, zwanzig Jahre lang andauern. Entsprechend wird in den Inventuren der zwanzig Jahre, die auf die Entwaldung folgen, jeweils ein Zwanzigstel des angenommenen genannten Bodenverlustes als Emission inventarisiert.

Umgekehrt gehören also zu den Emissionen im Inventarjahr (dies kann ein Jahr im Verpflichtungszeitraum sein) zeitlich verzögerte Effekte von Ent-

waldungen der letzten zehn Jahre (Abbau von oberirdischer Biomasse und im Boden) bzw. der letzten zwanzig Jahre (Abbau im Boden).

Unklar sind die Regelungen zur Inventarisierung einer Abholzung, auf die sofort die Pflanzung einer Forstplantage erfolgt. Nach der Definition von „reforestation“ gemäß dem Glossar der IPCC-Richtlinien liegt zwischen der Abholzung und der Wiederaufforstung eine gewisse Zeitspanne, in der die Fläche anders genutzt wurde („historically, previously contained forests, but which have been converted to some other use“), so daß die unmittelbare Wiederaufforstung nach der Ernte vermutlich nicht verrechnet würde. Die Definition der FAO hingegen (reforestation: „establishment of a tree crop on forest land“), die eher dem üblichen Sprachgebrauch entspricht, könnte diesen Prozeß mit einschließen, also den jährlichen Zuwachs entsprechend in den jährlichen Inventaren berücksichtigen (Schlamadinger und Marland, 1998). Eine Anrechnung der Emissionen infolge der vorhergegangenen Rodung wird durch keine der beiden Definitionen mit eingeschlossen.

Ungestörte Naturwälder müssen nach den IPCC-Richtlinien in den Inventaren nicht berücksichtigt werden, da angenommen wird, daß sie sich in einem Gleichgewichtszustand befinden und weder eine Kohlenstoffquelle noch eine -senke darstellen. Allerdings heißt es, daß der Verlust der oberirdischen Biomasse, der durch die Abholzung eines Naturwaldes und einer anschließenden Nutzung als Plantage eintritt, unter der Kategorie der Umwandlung von Wald in andere Nutzungen erscheinen *sollte*. Es wird jedoch nicht auf die Verluste im Boden, die damit verbunden sind, Bezug genommen.

Die Abgrenzung einer Wiederaufforstung von Praktiken des Forstmanagements wird in den IPCC-Richtlinien nicht definiert, da hier ohnehin alle forstwirtschaftlichen Maßnahmen inventarisiert werden sollen. Eine Differenzierung zwischen Wiederaufforstung und anderen Maßnahmen, wie sie durch das Kyoto-Protokoll erforderlich wird, ist dementsprechend in den IPCC-Richtlinien nicht gegeben.

3.3

Anrechnung zusätzlicher Tätigkeiten? (Artikel 3 Absatz 4)

Nach Art. 3 Abs. 4 sollen die Vertragsstaaten noch vor der ersten Sitzung der COPsmoP Daten zur Verfügung stellen, die die Berechnung ihrer Kohlenstoffvorräte im Jahr 1990 und in den darauffolgenden Jahren ermöglichen. Auf ihrer ersten Sitzung soll die COPsmoP daraufhin über *Modalitäten, Regeln und Richtlinien* entscheiden, *wie und welche zusätzlichen menschlichen Tätigkeiten* in bezug auf Änderungen

der Emissionen und der Aufnahme von Treibhausgasen in den Bereichen landwirtschaftliche Böden, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft angerechnet werden. Diese Entscheidung soll zwar grundsätzlich nur für die folgenden Verpflichtungszeiträume gelten, allerdings können Vertragsstaaten diese Entscheidung wahlweise schon im ersten Verpflichtungszeitraum anwenden.

Die COPsmoP kann Entscheidungen über die Anrechnung zusätzlicher Tätigkeiten erst treffen, wenn das Kyoto-Protokoll in Kraft getreten ist. Dies wird sicherlich nicht vor 2000 geschehen. Andererseits wirken sich diese Entscheidungen möglicherweise bereits auf den ersten Verpflichtungszeitraum aus. In der Entscheidung zur Annahme des Kyoto-Protokolls (UNFCCC, 1997c) hat die dritte Vertragsstaatenkonferenz deshalb beschlossen, die Nebenorgane der Konvention zu beauftragen, die Behandlung der in Art. 3 Abs. 4 angesprochenen Themen bereits auf der vierten Vertragsstaatenkonferenz (November 1998) vorzubereiten. Das SBSTA (UNFCCC, 1998) beauftragte die Vertragsstaaten, Informationen zu Art. 3 Abs. 4 an das Sekretariat der FCCC zu übermitteln.

Der Verlauf der Verhandlungen in Kyoto zeigt, daß eine Reihe von Vertragsstaaten ein großes Interesse daran hat, weitere Tätigkeiten (etwa Forstmanagement oder auch die Nutzung landwirtschaftlicher Böden) in die Liste der anrechnungsfähigen Senken einzufügen.

Im genauen Wortlaut heißt es in Art. 3 Abs. 4, daß zusätzliche menschliche Tätigkeiten bezogen auf Änderungen der Emissionen von Treibhausgasen durch Quellen und der Aufnahme solcher Treibhausgase durch Senken in den Kategorien „landwirtschaftliche Böden“ und „Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“ zur zugeteilten Menge hinzugezählt oder von ihr abgezogen werden („additional human-induced activities related to changes in greenhouse gas emissions by sources and removals by sinks in the agricultural soils and the land use change and forestry categories shall be added to, or subtracted from, the assigned amounts for Parties included in Annex I“). Die zugeteilte Menge (assigned amount) ist die 2008–2012 erlaubte Menge an Brutto-Emissionen. Bei der Entscheidung, welche zusätzlichen Tätigkeiten angerechnet werden und wie, müssen die Unsicherheiten, die Transparenz der Berichterstattung und die Nachprüfbarkeit berücksichtigt werden.

An der in Art. 3 Abs. 7 definierten Bezugsmenge ändert sich durch Art. 3 Abs. 4 nichts. Somit vergrößert jede weitere angerechnete Senke die Menge an erlaubten Emissionen aus fossilen Energieträgern.

3.4

Flexible Umsetzung von Maßnahmen in Industrieländern: Artikel 6 und 17

Art. 6 ermöglicht die gemeinsame Umsetzung von Projekten zwischen mehreren Industrieländern. Anlage-I-Staaten können über solche Projekte Einheiten der Emissionsreduktion (emission reduction units) in anderen Industrieländern erwerben. Diese Projekte können ausdrücklich auch auf die erhöhte Aufnahme von Kohlendioxid durch Senken abzielen. Die Anrechnung von Senken wird hier nicht auf die in Art. 3 Abs. 3 genannten oder zusätzlich über Art. 3 Abs. 4 anzurechnenden Tätigkeiten beschränkt. Das könnte bedeuten, daß durch die Definition von Projekten nach Art. 6 eine Anrechnung von Maßnahmen (etwa Forstmanagement) in anderen Industrieländern möglich ist, die im eigenen Land ausgeschlossen ist.

Im Unterschied zur Anrechnung nach Art. 3 Abs. 3 müssen die Projekte nach Art. 6 zu einer Reduktion der Emissionen oder zu einer Erhöhung der Aufnahme durch Senken führen, die über die ohnehin erfolgende Reduktion hinausgehen („additional to any that would otherwise occur“, Art. 6 Abs. 1). Ferner muß die COPsmoP nach Art. 6 Abs. 2 Richtlinien für die Umsetzung von Art. 6 erarbeiten. Diese müssen auch die Verifizierung und die Berichterstattung betreffen. Die dritte Vertragsstaatenkonferenz hat hier ebenfalls die vierte Vertragsstaatenkonferenz (1998) beauftragt, diese Entscheidung vorzubereiten.

Nach Art. 17 kann außerdem mit Emissionszertifikaten gehandelt werden (emissions trading). Anlage-I-Staaten können mit diesen Emissionszertifikaten einen Teil ihrer Verpflichtungen nach Art. 3 erfüllen. Allerdings ist unklar, ob diese Zertifikate auch für die Schaffung oder Stärkung von Senken erteilt werden. Prinzipien, Modalitäten, Regeln und Richtlinien für die Ausgestaltung des Handels mit Emissionszertifikaten müssen von der Vertragsstaatenkonferenz beschlossen werden.

3.5

Maßnahmen in Entwicklungsländern (Artikel 12)

Die Regelungen des Kyoto-Protokolls zur Reduktion oder Begrenzung der Treibhausgasemissionen sowie zur Anrechnung von Tätigkeiten der Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft betreffen möglicherweise nicht nur Tätigkeiten in den Anlage-I-Staaten. Dies geht aus dem in Art. 12 vereinbarten clean development mechanism (CDM) hervor. Dieser Mechanismus ermöglicht faktisch die Vereinba-

rung einer gemeinsamen Umsetzung von Maßnahmen zur Emissionsreduktion zwischen Anlage-I-Staaten und Entwicklungsländern. Anlage-I-Staaten können sich über CDM-Projekte Emissionsreduktionen zertifizieren lassen und diese auf einen Teil ihrer Verpflichtungen nach Art. 3 anrechnen lassen („Parties included in Annex I may use certified emission reductions accruing from such project activities to contribute to compliance with part of their quantified emission limitation and reduction commitments under Article 3“, Art. 12 Abs. 3 Kyoto-Protokoll). Damit können Anlage-I-Staaten bereits im Jahr 2000 beginnen, wobei zertifizierte Emissionsreduktionen, die in der Zeit zwischen 2000 und 2008 (also vor dem ersten Verpflichtungszeitraum) erworben werden, für die Erfüllung der Verpflichtungen in diesem Zeitraum verwendet werden können (Art. 12 Abs. 10).

In Art. 12 ist durchweg nur von Emissionsreduktionen die Rede. Auch Abs. 5, der die Bedingungen für die Zertifizierbarkeit angibt, nennt nur „emission reductions“. Art. 6 hingegen bezieht sich auf „emission reduction units resulting from projects aimed at reducing anthropogenic emissions by sources or enhancing anthropogenic removals by sinks“ (Art. 6 Abs. 1). Senken werden also in Art. 12, der die gemeinsame Umsetzung von Projekten zwischen Industrie- und Entwicklungsländern regelt, im Gegensatz zu Art. 6, der die gemeinsame Umsetzung von Maßnahmen zwischen Industrieländern regelt, nicht genannt. Umgekehrt könnte man daraus also folgern, daß sie nicht erfaßt werden. Dennoch werden einige Vertragsstaaten Art. 12 so auslegen wollen, daß er sich auch auf die Netto-Emissionen bezieht, also neben energiebedingten Emissionen auch Quellen und Senken in den Bereichen Landnutzungsänderung und Forst berücksichtigt. Dies kann etwa damit begründet werden, daß Bezug genommen wird auf die Verpflichtungen nach Art. 3, die ja Senken mit einbeziehen. Dies würde allerdings die Frage aufwerfen, ob Projekte in Entwicklungsländern ebenfalls auf die in Art. 3 Abs. 3 genannten Tätigkeiten begrenzt sein müssen oder ob hier keinerlei Begrenzung (bis auf die Bedingungen in Abs. 5) gilt.

Neben den unmittelbaren Auswirkungen des vereinbarten clean development mechanism ist zu berücksichtigen, daß für zukünftige Verpflichtungszeiträume Entwicklungsländer mit großer Wahrscheinlichkeit in die Verpflichtungen einbezogen werden.

In dieser Stellungnahme wird deshalb auf Quellen und Senken terrestrischer Ökosysteme und ihre Beeinflussung durch die Menschen weltweit, nicht nur in den Anlage-I-Staaten, eingegangen.

Tabelle 1

Überblick über das Berechnungsverfahren im Kyoto-Protokoll.

- BE: Brutto-Emissionen (Energie, Industrie, Landwirtschaft, Abfall, keine Quellen und Senken aus Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft, Anlage A Kyoto-Protokoll)
- NE_{LF}: Netto-Emissionen im Bereich „Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“
- NE_L: Netto-Emissionen im Bereich „Landnutzungsänderung“ (ohne Forstwirtschaft)
- $\Delta V_{LF-Akt.(1990-2012)}$ (2008–2012): Vergrößerung der Kohlenstoffvorräte im Verpflichtungszeitraum, die nach Artikel 3 Absatz 3 und 4 angerechnet werden.
- ER_{CDM}: zertifizierte Emissionsreduktionen aus Projekten in Entwicklungsländern (nach Art. 12, CDM). Möglicherweise sind Senkenprojekte – etwa Aufforstungen – enthalten.
- ER_{Art.6}: erworbene Emissionsreduktionseinheiten aus Projekten in anderen Industrieländern, abzüglich abgegebener Einheiten (nach Art. 6). Senkenprojekte sind enthalten.
- EZ_{Art.17}: erworbene Emissionszertifikate, abzüglich verkaufter Emissionszertifikate
- X%: Reduktionssatz (siehe Anlage B Kyoto-Protokoll, z. B. EU-Staaten 8%)

Quelle: WBGU

	Anlage-I-Staaten	Entwicklungsländer
1990	Bezugsmenge = BE (1990) (Bezugsjahr) (ohne Landnutzung und Forst) Ausnahme: falls NE _{LF} (1990) > 0: (z.B. Australien) Bezugsmenge = BE(1990) + NE _L (1990)	Keine Verpflichtung. Abholzung wird keinem Staat angerechnet
ab 1990	Tätigkeiten: Aufforstung, Wiederaufforstung, Entwaldung (Art. 3.3) (Auswirkung auf 2008–2012) –Boden bei (Wieder-)Aufforstung vernachlässigt –Management wird nicht angerechnet –Schutz von Primärwäldern wird nicht angerechnet –Abgrenzung Management/Wiederaufforstung? –Umwandlung Primärwald in Sekundärwald? –Anrechnung von organischer Auflage? –Weitere Tätigkeiten? (Art. 3.4)	
ab 2000	Teilweise Anrechnung von Projekten in Entwicklungsländern (Artikel 12, CDM)	Finanzierung von CDM-Projekten. Abholzung wird keinem Staat angerechnet
2008–2012 (Verpflichtungszeitraum)	Änderung Kohlenstoffvorräte wird angerechnet Projekte in anderen Industrieländern (Artikel 6) Handel mit Emissionszertifikaten (Artikel 17) Anrechnung von Aufforstungsprojekten in Entwicklungsländern? (CDM, Artikel 12) Erlaubte Brutto-Emissionen (2008–2012) = (X% von der Bezugsmenge) * 5 (Art. 3 Abs. 7) + $\Delta V_{LF(1990-2012)}$ (2008–2012) (Art. 3 Abs. 3, Art. 3 Abs. 4?) + ER _{CDM} (2000–2012) (Art. 12) + ER _{Art.6} (2008–2012) (Art. 6) + EZ _{Art.17} (2008–2012) (Art. 17)	Abholzung wird keinem Staat angerechnet

4 Quellen- und Senkenpotentiale terrestrischer Ökosysteme

Im folgenden wird der Kenntnisstand über die Quellen- und Senkenpotentiale terrestrischer Ökosysteme dargestellt. Zunächst werden die verwendeten Begriffe des Kohlenstoffkreislaufs definiert.

- Unter *Quellen* (englisch: sources) für ein Treibhausgas (etwa Kohlendioxid) wird entsprechend der Definition der Klimarahmenkonvention (Art. 1 Abs. 9 UNFCCC) ein Vorgang oder eine Tätigkeit verstanden, durch die ein Treibhausgas in die Atmosphäre freigesetzt wird.
- Entsprechend sind *Senken* (englisch: sinks) nach Art. 1 Abs. 8 UNFCCC Vorgänge, Tätigkeiten oder Mechanismen, durch die Treibhausgase aus der Atmosphäre entfernt werden. Ein Ökosystem stellt also eine Senke für Kohlendioxid dar, wenn die Aufnahme von Kohlenstoff (durch Photosynthese) größer ist als die Veratmung von Kohlenstoff und die Entnahme von Kohlenstoff (Ernte). Dadurch nehmen die Kohlenstoffvorräte in der Vegetation oder im Boden (organische Auflage, Mineralboden) zu. Das Ökosystem stellt hingegen eine Quelle für Kohlendioxid dar, wenn die Aufnahme von Kohlenstoff entsprechend geringer ist als die Atmung und Entnahme. Die Kohlenstoffvorräte in der Vegetation oder im Boden nehmen folglich mit der Zeit ab.
- Als *Kohlenstoffspeicher* (englisch: reservoir) werden entsprechend der Klimarahmenkonvention (Art. 1 FCCC) Bestandteile des Klimasystems (etwa eine Bodenfläche oder eine Vegetationszone) definiert, in denen Kohlenstoff gespeichert wird (englisch: stored).
- Unter *Kohlenstoffvorräten* (englisch: stocks oder pools) wird die Masse an Kohlenstoff verstanden, die in einem Kohlenstoffspeicher (etwa einer Vegetationszone, einem Land oder einer Bodenfläche) gespeichert wird.
- Die *Kohlenstoffkonzentration* gibt den Kohlenstoff pro Gramm Trockensubstanz an.
- *Kohlenstoffflüsse* bezeichnen die Masse an Kohlenstoff, die pro Zeiteinheit von einer Vegetationszone oder einer Bodenfläche oder einem Land aufgenommen wird (negatives Vorzeichen) oder in die Atmosphäre gelangt (positives Vorzeichen).

Bei einem negativen Vorzeichen stellt die Vegetationszone oder die Bodenfläche oder das Land eine Senke dar, bei einem positiven Vorzeichen eine Quelle.

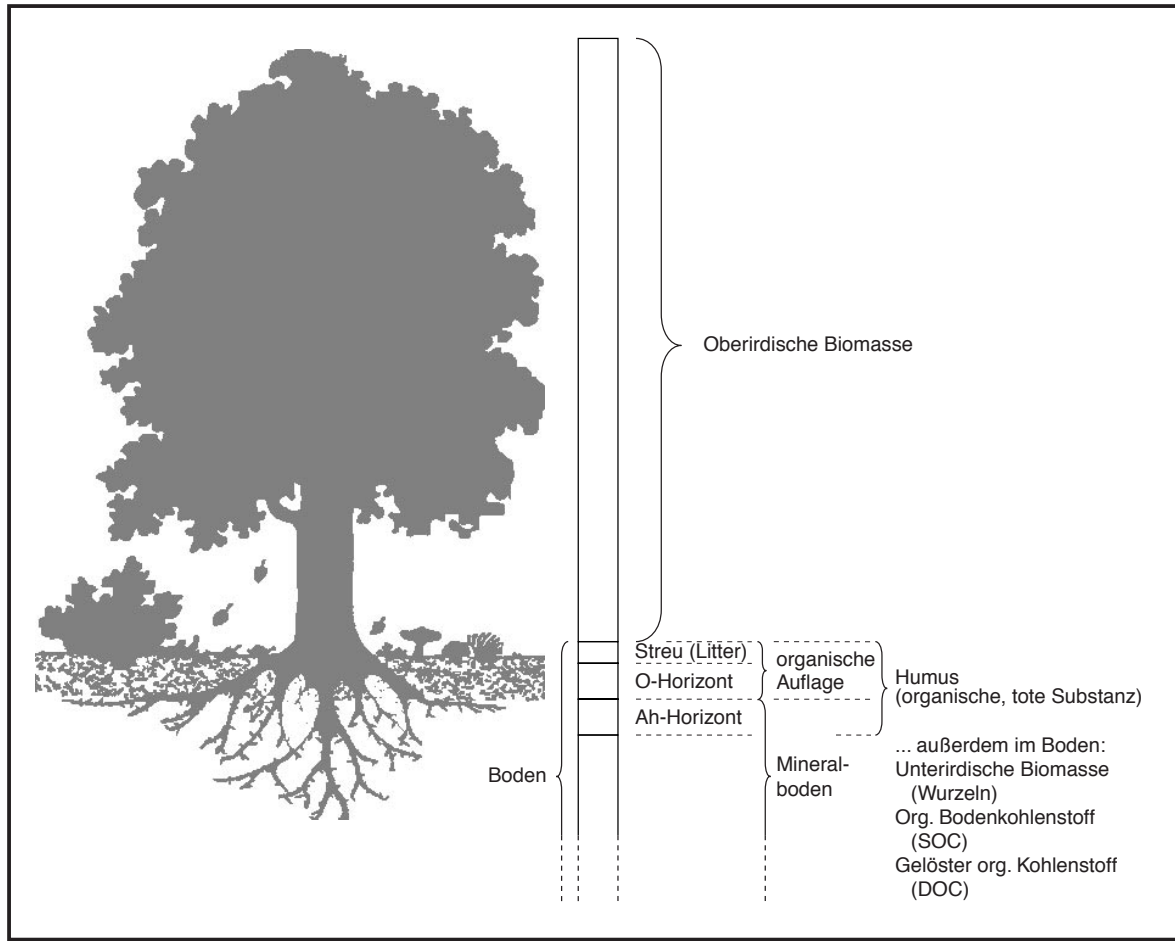
- Unter der *Kohlenstoffflußdichte* versteht man den Kohlenstofffluß pro Flächeneinheit.
- Die *Kohlenstoffbilanz* bezeichnet den Netto-Kohlenstofffluß, der sich als Summe aus allen Kohlenstoffflüssen und der Änderung der Vorräte (etwa auch durch Entnahme bei Ernte) ergibt.

4.1

Kohlenstoffvorräte in der Bio- und Pedosphäre

Die Kohlenstoffvorräte terrestrischer Ökosysteme verteilen sich ober- und unterirdisch auf die Vegetation, die organische Bodenaufgabe und den Mineralboden (soil organic carbon, SOC) (siehe Abb. 4). Bei der pflanzlichen Biomasse unterscheidet man die oberirdische von der unterirdischen Biomasse (zum Beispiel Wurzeln). Die organische Auflage des Bodens besteht aus der Streu (litter) und einem Teil der Humusaufgabe. Zusätzlich kommen in Hoch- und Niedermooren die Torfaufgaben hinzu. Ein Teil des im Mineralboden enthaltenen Kohlenstoffs (SOC) liegt gelöst vor (dissolved organic carbon, DOC). Nur ein Viertel des terrestrischen Kohlenstoffs ist in der Vegetation gespeichert, drei Viertel lagern im Boden (Heimann et al., 1997; Anhang Tabelle 2). Will man die Bewirtschaftung globaler Kohlenstoffquellen und -senken bewerten, sind deshalb insbesondere die Veränderungen im Boden zu beachten.

Der Kohlenstoffvorrat der Erde ist keineswegs proportional zur Fläche verteilt, da die Speicherung von Kohlenstoff im Boden vor allem an kühle Klimate gebunden ist (Tab. 2). Nur etwa ein Drittel der terrestrischen Landoberfläche befindet sich in den Annex I-Staaten. Auf dieser Fläche lagern aber etwa 50% des terrestrischen Kohlenstoffs, vor allem im Boden. Die Annex-I-Staaten tragen somit besondere Verantwortung für den Schutz des Boden-Kohlenstoffs.

**Abbildung 4**

Schematische Darstellung der Kompartimente eines terrestrischen Ökosystems. Die Begriffe sind im Glossar erläutert.
Quelle: WBGU

4.2

Vergleich von Vegetationstypen

Wälder enthalten etwa 46% des gesamten terrestrischen Kohlenstoffs, 39% sind allein im Waldboden und seiner organischen Auflage gespeichert (Anhang Tab. 2). In den borealen Wäldern Rußlands, Kanadas und Alaskas ist die Hälfte des weltweiten Waldkohlenstoffs zu finden. In den tropischen Wäldern sind 37% des Waldkohlenstoffs festgelegt. *Unter dem Blickwinkel des globalen Kohlenstoffhaushalts ist der Schutz der borealen Wälder somit mindestens ebenso wichtig wie der Schutz der tropischen Wälder.* Tropische und boreale Wälder unterscheiden sich aber dahingehend, daß in den borealen Wäldern 84% des Kohlenstoffs im Boden (organische Bodenaufgabe, Torf und organischer Bodenkohlenstoff) lagert, wohingegen in den Tropen nur 50% im Boden zu finden sind. Bei der Bewirtschaftung borealer Wälder ist besonders auf eine Erhaltung des Boden-

kohlenstoffs zu achten. Auffällig sind die geringen Kohlenstoffvorräte der europäischen Waldböden, auch in bezug auf die Vorräte pro Bodenfläche. Ein Einfluß der intensiven Bewirtschaftung der europäischen Wälder auf den Bodenkohlenstoffhaushalt, einschließlich der über Jahrhunderte hinweg praktizierten Streunutzung, ist hier nicht auszuschließen.

Grasländer und Savannen bedecken etwa 23% der Landoberfläche und enthalten ca. 26% der globalen terrestrischen Kohlenstoffvorräte, vor allem im Boden. Die Bodenkohlenstoffvorräte pro Fläche sind in den temperaten Grasländern (Schwarzerdeböden) doppelt bis viermal so hoch wie in den Savannen (Atjai et al., 1979; Houghton, 1995). Durch großflächige Umwandlung temperater Grasländer in landwirtschaftliche Böden gingen in der Vergangenheit etwa 50% dieses Kohlenstoffs verloren (Matson et al., 1997). Sekundäre Grasländer (z. B. Gattung *Imperata*), die durch Brandrodung in den Tropen entstehen, speichern abhängig von der Feuerhäufigkeit nur sehr wenig Kohlenstoff. Weideböden im Amazonas-

Tabelle 2

Die globalen terrestrischen Kohlenstoffvorräte und die Netto-Primärproduktion der Vegetationstypen und ihre Verteilung auf die Anlage-I-Länder.

Quellen: IPCC, 1998

	Fläche (Mio. km ²)		Kohlenstoffvorräte (Gt)		Netto-Primärproduktion (Gt Jahr ⁻¹)	
	Global	Anlage-I-Länder	Global	Anlage-I-Länder	Global	Anlage-I-Länder
Wälder und lichte Baumbestände (woodlands)	41,8	19,3	987	526	25	9
Getreideanbauflächen, Äcker und Wiesen	48,1	14,9	385	119	25	8
Moore	4,8	4,5	430	401	0,2	0,2
Andere	54,3	11,5	388	69	11	2
Gesamt	149	50,2	2.190	1.115	61	19
Atmosphäre			750			
Kohlevorräte			9.000			
Geschätzte Nettozunahme bei CO ₂ -Zunahme, Klimawandel und Veränderungen der Vegetationszonen			290			

Gebiet können aber gleiche oder sogar höhere Gesamt-Kohlenstoffvorräte aufweisen als Böden intakter Regenwälder (Anhang Tab. 6). Es ist abzusehen, daß in Zukunft viele wechselfeuchte und feuchte tropische Wälder zu Grasländern umgewandelt werden. Wie weit dies den globalen Kohlenstoffhaushalt beeinflusst, wird davon abhängen, ob degradierte Flächen (z. B. *Imperata*-Grasland) oder Wirtschaftswideland entstehen. Dies wiederum hängt in hohem Maße von der Qualität der Böden und den durch den Menschen verursachten Feuerzyklen ab.

Ackerflächen bedecken mit einer Ausdehnung von 1,47 Mrd. ha etwa 11% der eisfreien Landoberfläche. Sie enthalten weniger als 1% des Kohlenstoffs der terrestrischen Ökosysteme in ihrer oberirdischen Biomasse aber 8–10% der weltweiten Bodenkohlenstoffvorräte. Gegenwärtig werden rund 80% der potentiellen landwirtschaftlichen Nutzfläche bewirtschaftet (Cole et al., 1993). Bouwman und Leemans (1995) schätzen für die 90er Jahre die jährliche Konversion von Wald in Ackerfläche auf 12 Mio. ha und auf 2,5 Mio. ha für die Konversion von Wald in Grasland. Die Ausweitung der Ackerfläche auf die heutigen 1,47 Mrd. ha hat zu einem Verlust von 93 Gt C aus der oberirdischen Biomasse geführt (Lal et al., 1998). Wenn natürliche Ökosysteme in ackerbauliche Flächen umgewandelt werden, nimmt der Vorrat an Bodenkohlenstoff im ersten Meter um etwa 25% bis 30% ab. Die Abnahme unterliegt je nach Bewirtschaftungsweise, klimatischer Ausgangssituation und Beschaffenheit der Böden großen Schwankungen (Detwiler, 1986; Mann, 1986; Batjes und Sombroek,

1997). Insgesamt hat die Konversion natürlicher Ökosysteme in Ackerflächen zu einer Verringerung der Vorräte um 38 Gt Bodenkohlenstoff geführt. Nach Schätzungen des IPCC (1996b) liegt in einem verbesserten Management, das über die nächsten 50–100 Jahre anhalten müßte, ein Senkenpotential, das zur Bildung eines Vorrats von 20–40 Gt führen würde.

Gründe für die niedrigen Kohlenstoffvorräte sind die regelmäßige Ernte der Biomasse und die Bearbeitung der Böden. Die Netto-Primärproduktivität (NPP) landwirtschaftlicher Nutzflächen ist im Verhältnis zur NPP der natürlichen Vegetation in vielen Regionen sehr niedrig. Lediglich in einigen Industrieländern reicht die NPP der landwirtschaftlichen Kulturen an die natürliche Vegetation heran oder übertrifft diese. In den Entwicklungsländern beträgt die Netto-Primärproduktivität der landwirtschaftlichen Kulturen lediglich 10 bis 20% der NPP natürlicher Vegetationen (Esser, 1994). Eine verminderte NPP ist gleichbedeutend mit einer Reduzierung der pflanzlichen Biomasse. Diese Reduzierung führt zu verringerten Bestandsabfällen und somit zu verringerter Kohlenstoffzufuhr in das Teilsystem Bestandsabfall/Humus.

Feuchtgebiete bedecken je nach Definition 3–6% der Erdoberfläche, enthalten aber je nach Definition und Schätzung 10–30% des globalen terrestrischen Kohlenstoffs (Lugo et al., 1990; IPCC, 1996b; Mitsch und Wu, 1995) (Anhang Tab. 2). Bezogen auf die Bodenflächeneinheit speichern sie dreimal mehr Kohlenstoff als Wälder (Mitsch und Wu, 1995). Nach

Zoltai und Martikainen (1996) betragen die Vorräte an Bodenkohlenstoff in torfbildenden Feuchtgebieten 541 Gt und machen damit einen Anteil von 34,6% an den terrestrischen Bodenkohlenstoffvorräten aus. Nimmt man die Vorräte der Biomasse hinzu, erhöhen sich die Gesamtvorräte nur unwesentlich auf 566,7 Gt Kohlenstoff. Dies entspricht einem Anteil von 20% an den Gesamtkohlenstoffvorräten der terrestrischen Ökosysteme. In den Inventuren (Anhang Tab. 2) sind Doppelzählungen, z. B. von bewaldeten Mooren, möglich. Der Flächenanteil der tropischen Feuchtgebiete an den weltweiten Feuchtgebieten beträgt je nach Schätzung zwischen 30 und 50%, wenn die Flächen des Reisanbaus mitgezählt werden. Ohne die Berücksichtigung der Reiskulturen beträgt der Anteil der tropischen Feuchtgebiete zwischen 10 und 30%. Trotz des geringeren Flächenanteils enthalten tropische Feuchtgebiete ähnlich hohe Kohlenstoffvorräte wie die Feuchtgebiete der nördlichen Hemisphäre, da die Vorräte sowohl in der Biomasse als auch im Boden um ein mehrfaches höher liegen (Matthews und Fung, 1987; Aselmann und Crutzen, 1989; Maltby und Turner, 1983; IPCC, 1996b). Die Kohlenstoffvorräte in den tropischen Feuchtgebieten sind vor allem durch Landnutzungsänderungen (Reisanbau) stark gefährdet.

Die arktischen Kohlenstoffvorräte könnten durch Klimaänderungen freigesetzt werden, da sich der Wasserhaushalt der Feuchtgebiete ändern kann und die Kohlenstoffvorräte der Permafrostböden der Mineralisierung zugänglich würden. Trotz aller Unsicherheiten belegen die Schätzungen die enorme Bedeutung und Schutzbedürftigkeit dieser Habitats, auch in der temperaten Zone (z. B. Feuchtgebiete in Deutschland).

5 Kohlenstoffflüsse

5.1 Das Konzept der Netto-Biomproduktivität

Im folgenden soll untersucht werden, inwieweit die derzeit vermutete Aufnahme von Kohlenstoff durch die Erdoberfläche dauerhaft ist. Dazu müssen die für den Kohlenstoffkreislauf wichtigen Prozesse in terrestrischen Ökosystemen bekannt sein (Abb. 5).

Etwa die Hälfte des in der Photosynthese assimilierten Kohlenstoffs (*Gross Primary Productivity*, GPP) wird für den Betriebsstoffwechsel der Pflanze wieder verbraucht (autotrophe Atmung) (Waring et al., 1998). Die andere Hälfte wird in das Wachstum der Pflanzen investiert (*Net Primary Productivity*, NPP). Ein Großteil dieser NPP wiederum wird dem Ökosystem als Streu zugeführt und dann durch Bodenorganismen mineralisiert (heterotrophe At-

mung). Dadurch werden etwa 45% der ursprünglichen GPP wieder freigesetzt. Gleichzeitig werden dabei Mineralstoffe für das Wachstum der Pflanzen wieder verfügbar gemacht. Die verbleibenden 5% der GPP (*Net Ecosystem Productivity*, NEP) bilden in Form von schwer abbaubaren organischen Substanzen den Humus. Der Mensch nutzt einen Teil der NPP als Nahrungsmittel, Energiequelle oder Bau- und Faserstoffe. Zusätzlich wird organische Substanz durch natürliche und anthropogene Feuer wieder in Kohlendioxid umgewandelt. Vermutlich verbleiben deshalb nur etwa 0,5% der GPP als langlebiger Kohlenstoff (Holzkohle, stabiler Humus) im Ökosystem (*Net Biome Productivity*, NBP; Schulze und Heimann, 1998).

Das Schema (Abb. 5) integriert zwar die *Netto-Kohlenstoffflüsse* über verschiedene zeitliche und räumliche Skalen, beinhaltet aber nicht die *Kohlenstoffvorräte*, die mit unterschiedlichen zeitlichen und

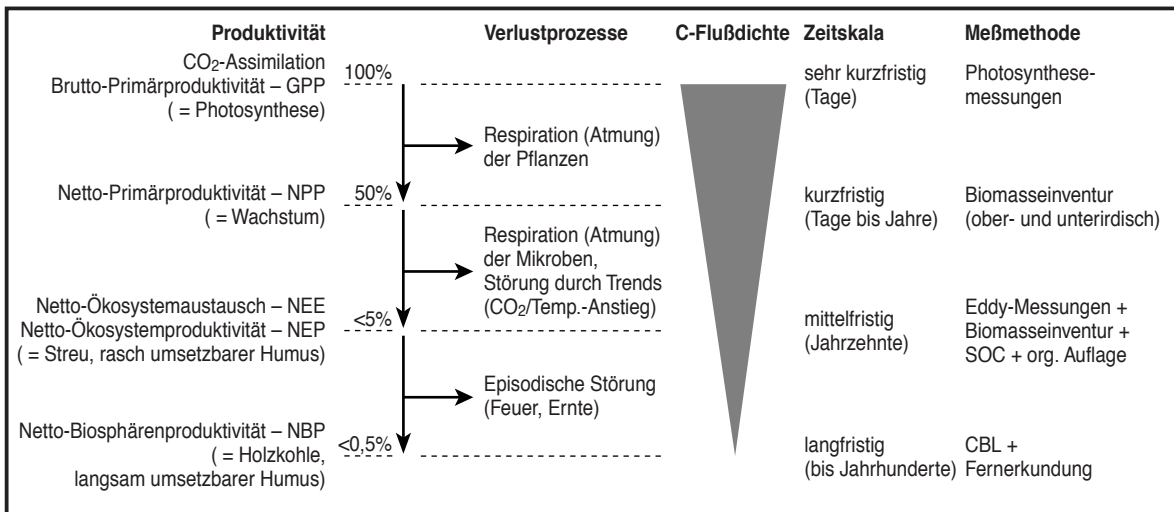


Abbildung 5

Modell zum Verbleib des Kohlenstoffs nach der Assimilation im Ökosystem. Die Darstellung beinhaltet die verschiedenen Ebenen der Produktivität und des Verlusts von Kohlenstoff, die Kohlenstoffflußdichte und Zeitskalen der Produktivitätsebenen sowie die Meßmethoden, die eine Quantifizierung der Produktivität ermöglichen. Eddy-Messungen = Eddy-Kovarianzmessungen, CBL = Bilanzierung der turbulenten Grenzschicht der Atmosphäre (Convective Boundary Layer).

Quelle: verändert nach Schulze und Heimann, 1998

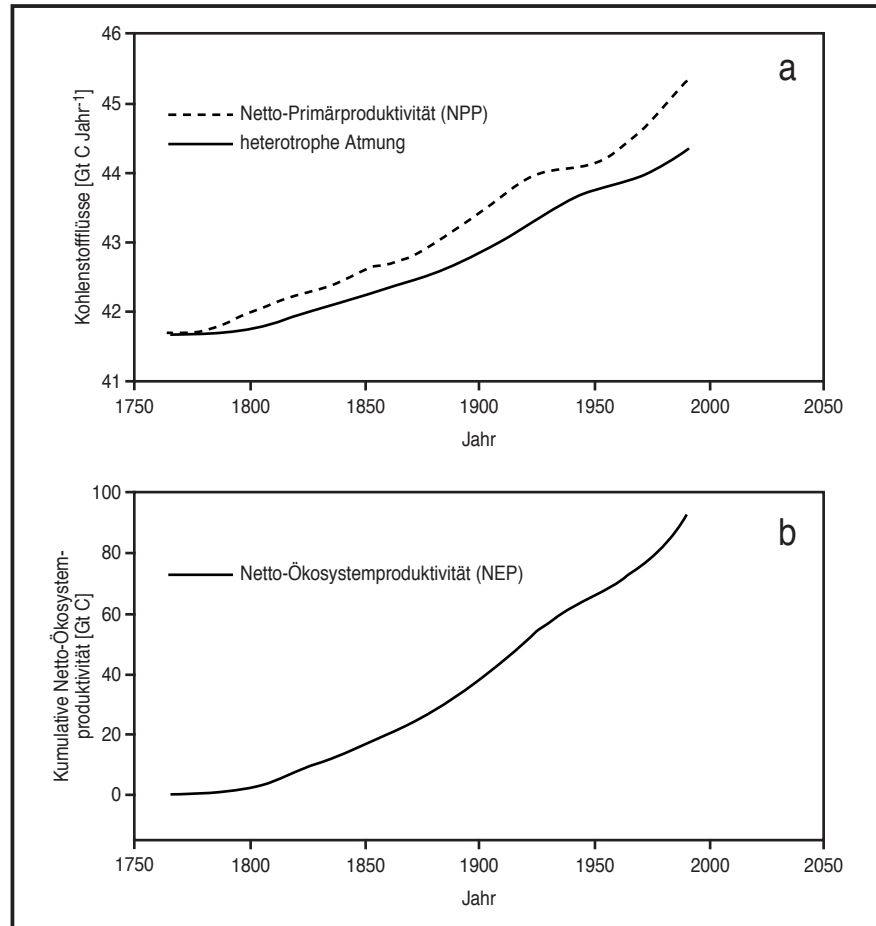
Abbildung 6

Mit dem Terrestrial Ecosystem Model (TEM) simulierte Entwicklung des Kohlenstoffsinkenpotentials der terrestrischen Biosphäre. Mit zunehmendem Kohlendioxidgehalt in der Atmosphäre steigt die Netto-Primärproduktivität.

(a) Simulierte Netto-Primärproduktivität (NPP) und die heterotrophe Atmung seit 1750.

(b) Kumulierte Netto-Ökosystemproduktivität (NEP) seit 1750.

Quelle: IPCC, 1996a



räumlichen Skalen im Ablauf der Prozesse auf einzelnen Stufen zwischengelagert werden. Außerdem fehlt die Abhängigkeit der Flüsse von verschiedenen Umweltfaktoren. So wird die Assimilation vor allem von Licht, Kohlendioxidkonzentration und Ernährung gesteuert, die Atmung hingegen vor allem von der Temperatur (Scholes et al., 1998). Die autotrophe Atmung erfolgt, bezogen auf ein Jahr, zeitgleich mit der Assimilation. Die heterotrophe Atmung jedoch geschieht zeitverzögert und erstreckt sich, je nach pflanzlichem Material, über einen Zeitraum von bis zu 20 Jahren (in kalten Klimaten und für Teile der Humusfraktion kann dieser Zeitraum mehrere Jahrhunderte betragen, im vorliegenden Zusammenhang ist dies quantitativ jedoch unbedeutsam). Wird die Assimilation durch anthropogene Einflüsse (insbesondere Kohlendioxid- und Stickstoffdeposition) kontinuierlich gesteigert, so folgt die heterotrophe Atmung mit einer Verzögerung von etwa 30 Jahren nach (IPCC, 1996a) (Abb. 6).

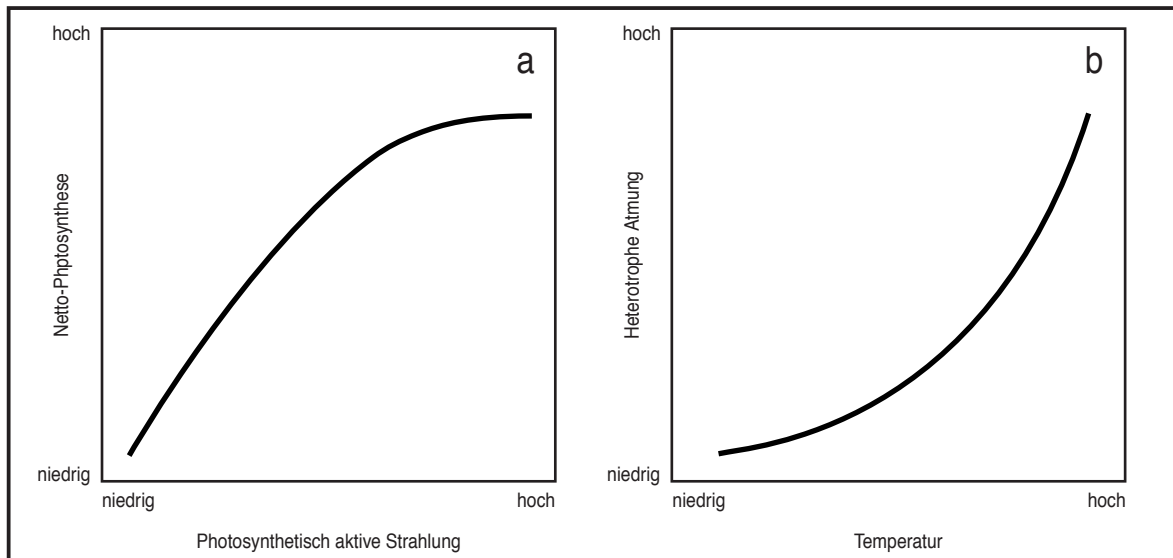
Der Fluß des Kohlenstoffs von der NPP in einen temporären Zwischenspeicher kann durch den Menschen beeinflusst werden, einmal durch Abernten von Biomasse, zum anderen durch Feuer. Feuer über-

führen zum einen Kohlenstoff in die Atmosphäre, zum anderen in die sehr stabile Form der Holzkohle.

Es ist abzusehen, daß die NPP in Zukunft nicht im gleichen Maße zunehmen wird wie in der Vergangenheit (Walker et al., 1998). Gleichzeitig wird aber die Atmung durch eine Zunahme der Temperatur (Klimaänderung) exponentiell ansteigen (Abb. 7).

Der Vorsprung der NPP wird sich so im Laufe des 21. Jahrhunderts verringern oder sehr wahrscheinlich sogar durch die Atmung überholt werden. *Damit werden sich terrestrische Ökosysteme, die zur Zeit Senken für Kohlendioxid sind, in Zukunft in Quellen für dieses Treibhausgas verwandeln.* Wie weit die Menschen (durch Feuer, Ernte und andere Störungen) diesen Prozeß beschleunigen, ist schwer abzuschätzen.

Im folgenden werden die Flußgrößen für NPP, NEP und NBP abgeschätzt und auf die globale Kohlenstoffbilanz extrapoliert.

**Abbildung 7**

Modell zur Abhängigkeit der Photosynthese und der heterotrophen Atmung von abiotischen Faktoren. (a) Abhängigkeit der Photosynthese vom Licht. (b) Abhängigkeit der heterotrophen Atmung von der Temperatur.

Quelle: verändert nach Larcher, 1994; Lloyd und Taylor, 1994

5.2

Die Netto-Primärproduktivität (NPP), die Netto-Ökosystemproduktivität (NEP) und Netto-Biomproduktivität (NBP)

Die Datengrundlage für eine Abschätzung der Netto-Ökosystemproduktivität ist für eine Senkenberechnung gemäß dem Kyoto-Protokoll unzureichend. Es liegen nur Daten von einzelnen Beständen oder Arten vor. Nur ein Teil der Datensätze enthält Messungen über ein ganzes Jahr. Da aber die Kohlenstoffflüsse von Witterung und Vegetationsperiode abhängig sind und stark zwischen Netto-Assimilation und -Dissimilation schwanken können, sind über nur wenige Monate gemessene NEP-Daten nicht ausreichend.

Die bisherigen Daten (Anhang Tab. 4) weisen darauf hin, daß die *temperaten Wälder derzeit die wohl größte terrestrische Senke – bezogen auf die Fläche – darstellen* (NEP von $-1,4$ bis $-15,5$ t C ha⁻¹ Jahr⁻¹ (Median $-3,7$ t C ha⁻¹ Jahr⁻¹)). Die NEP der borealen und tropischen Wälder ist ebenfalls negativ, aber doch wesentlich geringer als die der temperaten Wälder ($+0,7$ bis $-1,3$ t C ha⁻¹ Jahr⁻¹ bzw. -1 t C ha⁻¹ Jahr⁻¹). *Auch Altbestände zeigen noch eine erhebliche negative NEP* (Buchmann und Schulze, 1998).

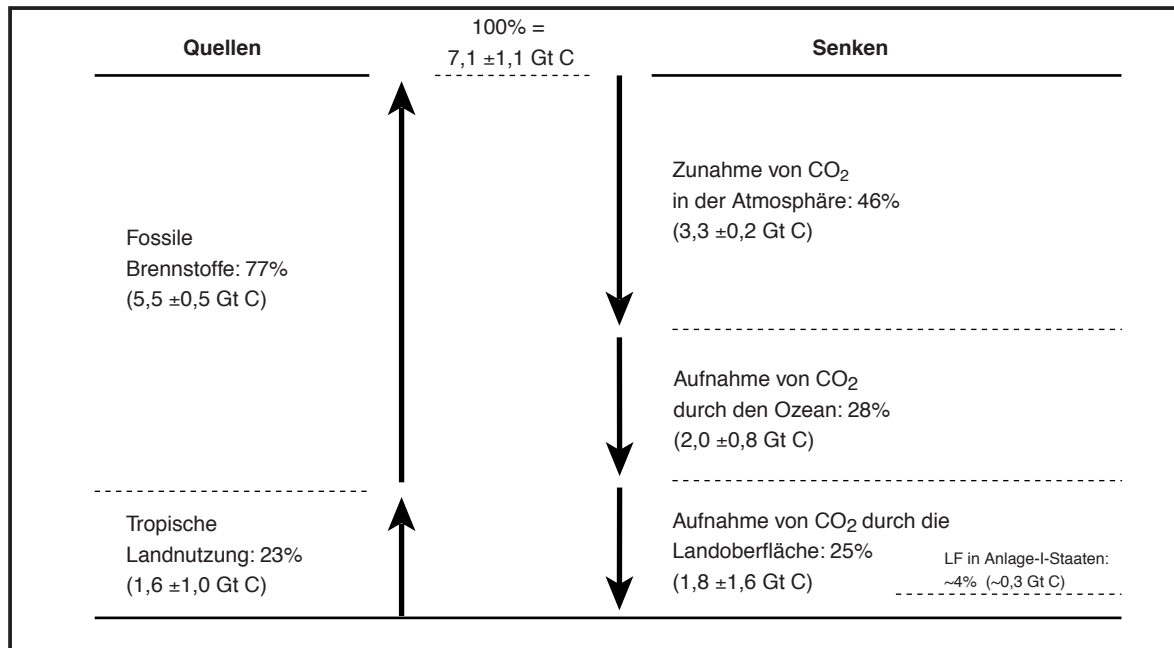
Bewirtschaftetes Grünland der temperaten Zone kann eine unerwartet große Kohlenstoffquelle darstellen, während natürliche Grasländer bedeutende Senken sein können (Anhang Tab. 4). Über Feuchtgebiete, Grasländer und tropische Wälder liegen keine

oder nur sehr wenige Daten vor. In Zukunft werden erste vollständige Jahresdatensätze der internationalen Forschungsprojekte EUROFLUX, AMERIFLUX, EUROSIBIRIEN und CARBONFLUX erwartet. Ergebnisse des Projekts BOREAS wurden vor kurzem veröffentlicht (Journal of Geophysical Research, 1998, Vol. 102). Abschätzungen der NBP sind bislang nur für einzelne Bestände möglich. Schlesinger (1990) rechnet mit einer Akkumulation von Bodenkohlenstoff (SOC) in Böden, die zwischen 3.000 und 10.000 Jahre alt sind, von $0,024$ t C ha⁻¹ Jahr⁻¹.

5.3

Abschätzung der globalen Kohlenstoffbilanz

Um eine globale Kohlenstoffbilanz zu erstellen, wird über die verschiedenen Kohlenstoffflüsse integriert (Abb. 8). Landnutzungsänderungen in den Tropen (Zerstörung der Regenwälder) waren mit etwa 1,6 Gt C pro Jahr in den achtziger Jahren für nahezu 25% der gesamten anthropogenen Kohlendioxidemissionen verantwortlich (Schimel, 1995). Andererseits nahm die terrestrische Vegetation im selben Zeitraum etwa 1,8 Gt C pro Jahr auf (IPCC, 1996a). Dabei spielen vermutlich Wiederaufforstungen in den mittleren Breiten und Düngungs- und Klimaefekte eine wichtige Rolle. Düngungseffekte werden auf die erhöhte Emission von Kohlendioxid und die Stickstoffdeposition (Luftverschmutzung) zurückgeführt. Insgesamt ergibt die Kohlenstoffbilanz, daß die terrestrische Vegetation in den achtziger Jahren eine

**Abbildung 8**

Jährliche mittlere globale Kohlenstoffbilanz für den Zeitraum 1980–1989. Kohlendioxidflüsse und -vorratsänderungen sind in Gt C Jahr⁻¹ angegeben. Zum Vergleich ist auch die anthropogene Netto-Aufnahme von Kohlendioxid im Bereich „Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“ (LF) in den Industriestaaten im Jahr 1990 benannt. Sie beträgt laut Nationalberichten dieser Staaten etwa 0,3 Gt C. Das sind 8% ihrer Gesamtemissionen bzw. etwa 4% der globalen anthropogenen Emissionen.

Quelle: IPCC, 1996a; UNFCCC, 1997a

Netto-Kohlenstoffsенke im Umfang von 0,2 Gt C pro Jahr darstellt. Nach neuesten Messungen von Keeling et al. (1996) kompensiert das Assimilationspotential der Landoberflächen etwa ein Drittel der menschlich verursachten Kohlendioxid-Emissionen. Dies wird auch durch Invers-Modellierungen bestätigt, in denen von gemessenen CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre und ihrer Verteilung auf die Quellen und Senken der Erdoberfläche geschlossen wird (Ciais et al., 1995).

Biosphäre um mehr als 1 Gt C zwischen Netto-Kohlenstoffaufnahme und -abgabe geschwankt haben. Selbst im Jahresverlauf kann eine Umkehrung von Senken in Quellen stattfinden. Die jährliche Variabilität der letzten 60 Jahre betrug etwa 0,3 Gt C (Townsend et al., 1996b). Die räumliche Variabilität der Senken liegt vermutlich in der gleichen Größenordnung. Bei der vorhandenen Dichte der Meßnetze erscheint es unmöglich, die biologischen Quellen und Senken auf das Jahr 1990 zurückzurechnen.

5.3.1

Natürliche Variabilität

Die terrestrischen Kohlenstoffflüsse sind klimaabhängig und von Region zu Region, von Jahr zu Jahr und von Tag zu Tag sehr veränderlich. Dies erschwert die Abschätzung der Flüsse erheblich und zeigt, daß es sich hier um dynamische Prozesse handelt, die nicht als „zeitlose“ Senken verstanden werden dürfen. Der Einfluß von Störungen (insbesondere von Feuer) ist, trotz der herausragenden Bedeutung für die globale Kohlenstoffbilanz, nur ansatzweise untersucht worden (etwa für boreale Wälder Kanadas; Kurz und Apps, 1996). Allein aufgrund der Klimavariabilität der letzten 60 Jahre könnte die terrestrische

5.3.2

Vollständige Kohlenstoffbilanzen von Nationalstaaten

Nur für wenige Länder liegen bislang vollständige Kohlenstoffbilanzen vor, z. B. Schweiz (Paulsen, 1995) und Österreich (Körner et al., 1993). Für Deutschland fehlt eine solche Inventur.

6 Veränderung von Quellen und Senken durch menschliche Tätigkeiten

6.1

Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft

6.1.1

Umwandlung von Primärwäldern in Sekundärwälder oder bewirtschaftete Wälder

Aus den IPCC-Richtlinien (IPCC, 1997) geht nicht eindeutig hervor, daß die Umwandlung von Primärwäldern in Sekundärwälder oder bewirtschaftete Wälder nach Art. 3 Abs. 3 (etwa unter den Kategorien Entwaldung und Wiederaufforstung) angerechnet wird, obwohl dieser menschliche Eingriff in terrestrische Ökosysteme zu sehr hohen Emissionen führen kann.

Entwaldung findet derzeit vor allem in den Tropen statt. Primärwälder werden allerdings nicht nur in den Tropen, sondern auch im borealen Nadelwald und im pazifischen Nordwesten Nordamerikas in Sekundärwälder oder Holzplantagen umgewandelt. Die Auswirkungen auf den Kohlenstoffkreislauf wurden in den meisten Studien nur hinsichtlich der forstlich nutzbaren Biomasse der Plantagen oder Sekundärwälder untersucht. Beispiele einer Gesamtbilanz gibt Anhang Tab. 5.

Alte, natürliche Wälder speichern sehr große Mengen Kohlenstoff, die freigesetzt werden können, wenn sie bewirtschaftet oder in andere Nutzungen umgewandelt werden (Abb. 11 und 12). *In den Tropen haben Plantagen einen um etwa 25–50% niedrigeren Kohlenstoffvorrat in der Biomasse als der Primärwald.* Sekundärwälder und unregelmäßig genutzte Wälder haben einen um 30–80% geringeren Vorrat an Holzbiomasse (Fölster, 1989; FAO, 1981). In der temperaten Zone weisen Wirtschaftswälder eine um etwa 40–50% reduzierte Biomasse auf. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, daß forstlich genutzte Wälder nicht das gleiche Alter wie der Primärwald erreichen, sondern je nach Baumart, Nutzungsform und -intensität bereits nach 20–50 Jahren in den Tropen und 60–120 Jahren (ca. 200 Jahre bei Eichen)

in der temperaten Zone geerntet werden und daß ständig bei Durchforstungen Biomasse entnommen wird. Integriert über mehrere Rotationen von Aufwuchs und Ernte, ergibt sich nach Cooper (1983) ein mittlerer Kohlenstoffvorrat intensiv genutzter Wälder von nur 30% des ungestörten Altbestands bzw. Primärwaldes. Mit intensiv genutzten Wäldern sind hier Plantagen und Wirtschaftswälder gemeint, die mit „maximal nachhaltiger Ernte“ genutzt werden. Entwickelt sich der Sekundärwald ungestört, so sind in der temperaten Zone etwa 150–250 Jahre (Harmon et al., 1990), in den Tropen vermutlich auch über 150 Jahre (Walter, 1964; Saldarriaga et al., 1986 nach Fearnside, 1996) nötig, bis die Kohlenstoffvorräte des Primärwaldes wieder erreicht sind.

Der Einfluß der Bewirtschaftung ist auch im organischen Bodenkohlenstoff (SOC, soil organic carbon) zu erkennen. Die Veränderungen in der organischen Auflage werden in vielen Studien nicht berücksichtigt (Cooper, 1983). In temperaten und besonders borealen Wäldern lagern in der organischen Auflage und im Boden große Mengen Kohlenstoff (Anhang Tab. 2 und 3), die durch Ernte oder Feuer meistens vernichtet werden.

Häufig erreicht man die gewünschte Umwandlung eines Primärwaldes in einen auf wirtschaftliche Nutzung ausgerichteten Sekundärwald, ohne daß Pflanzungen notwendig sind. Dazu schafft man geeignete Bodenverhältnisse, damit der gewünschte Sekundärwald „natürlich“ keimt und wächst. Bei der Umwandlung der sehr artenreichen *Thuja*-Wälder des pazifischen Nordwestens Nordamerikas wird beispielsweise der Mineralboden maschinell freigelegt und die organische Auflage verbrannt, damit die gewünschte Wirtschaftsbaumart *Pinus contorta* keimen kann. Man spricht dann von einer Naturverjüngung. Eine Anrechnung von Naturverjüngungen, wie sie bei vielen Wirtschaftsbaumarten der temperaten und borealen Wälder (zum Beispiel Kiefer und Douglasie) üblich sind, ist nach der Definition der IPCC-Richtlinien für Wiederaufforstung wahrscheinlich nicht möglich (Kap. 3.2.2). Zudem sind Naturverjüngungen keine aktiven Maßnahmen zur Schaffung von Senken. Naturverjüngungen auf klei-

nen Flächen im Rahmen einer nachhaltigen Bewirtschaftung (z. B. Femelschlag) sind jedoch aus ökologischer Sicht zu befürworten. Es bleibt zu klären, inwieweit ökologisch sinnvolle Naturverjüngungen von solchen Naturverjüngungen zu trennen sind, denen großflächige Kahlschläge und die Zerstörungen von Kohlenstoffsinken vorausgehen.

Da die Wachstumsraten junger Bestände zumeist sehr hoch sind, wird die oberirdische Biomasse nach der Rodung des Primärwaldes oder Altbestands vergleichsweise schnell wieder aufgebaut. Die Bodenatmung kann jedoch wegen der günstigen Temperatur und Wasserverhältnisse nach einem Kahlschlag über Jahre hinweg größer sein als die Assimilation der jungen Bäume, so daß erst nach 20–50 Jahren wieder nennenswerte Kohlenstoffmengen festgelegt werden (Heimann et al. 1997; Cohen et al., 1996). Die Kohlenstoffvorräte im Boden erreichen etwa 10–20 Jahre nach der Ernte des Waldes ein Minimum (Black und Harden, 1995; Covington, 1981). Untersuchungen über die langfristige Entwicklung der Kohlenstoffvorräte nach mehrfacher Rotation einer Plantage fehlen bisher. Es gibt Hinweise, daß trotz Ernte die Kohlenstoffvorräte im Boden konstant bleiben (Johnson, 1992).

6.1.2

Degradation

Die Degradation von Wäldern gilt gemäß den IPCC-Richtlinien und auch üblicher forstwirtschaftlicher Definitionen nicht als Entwaldung. Damit würde diese Form des menschlichen Eingriffs nicht nach Art. 3 Abs. 3 angerechnet werden, auch wenn die Degradation von Wäldern de facto zu einer Entwaldung führt.

Die schleichende Degradation von Wäldern durch unangemessene selektive Holzernte, unerlaubten Holzeinschlag und anthropogene Feuer ist neben der Entwaldung und Umwandlung von Wäldern ein Prozeß, der für die globale Kohlenstoffbilanz durchaus von großer Bedeutung sein könnte (Brown, 1996). Diese Eingriffe führen zu Veränderungen der Bestandsstruktur, des Mikroklimas und der Böden. Dicht geschlossene Waldformationen gehen über in offene, busch- oder grasreiche Formationen zunehmender Fragmentierung. In den Tropen kann die Degradation letztlich bis zur Bildung von *Imperata*-Grasländern führen.

Besonders in Primärwäldern stellt sich die Frage nach der Möglichkeit einer nachhaltigen forstlichen Nutzung von Wäldern. *Die meisten Versuche, in den Tropen eine sowohl hinsichtlich der Produktion als auch der vielfältigen anderen Ökosystemfunktionen (Biodiversität, Nährstoffhaushalt etc., vergleichbar*

mit temperaten Plenterwäldern) nachhaltige Forstwirtschaft zu betreiben, sind nach Kenntnis des Beirats fehlgeschlagen (z. B. in Guyana, Australien, Neuseeland und Indonesien). Neben der hohen Sensibilität dieses Ökosystems gegenüber Störungen ist die Größe der Erntebäume, verbunden mit der hohen Dichte der Bestände, ein Grund für das hohe Zerstörungspotential einer Nutzung, auch bei einer selektiven Baumernte. Das Flächenausmaß einer schleichenden Degradation von Primärwäldern ist unbekannt. *Nach Schätzung der FAO (1993, zitiert nach Brown, 1996) ist die Degradationsrate um ein Mehrfaches höher als die Entwaldungsrate.*

6.1.3

Umwandlung von Wald in Weide oder Grasland

Eine Umwandlung von Wald in Weide oder Grasland entspricht nach den IPCC-Richtlinien einer Entwaldung. Die Emissionen, die auf eine solche, nicht vor 1990 erfolgte Umwandlung zurückzuführen sind, werden demnach als Entwaldung nach Art. 3 Abs. 3 des Kyoto-Protokolls angerechnet – allerdings nur der Anteil der Emissionen, der im Verpflichtungszeitraum (2008–2012) erfolgt. Der größte Teil der Emissionen, die durch Abholzung oder Verbrennung verursacht werden, erfolgt aber im gleichen Jahr der Entwaldung. Nur ein Bruchteil wird in den folgenden etwa 10 bis 20 Jahren durch Abbau von Biomasse und Bodenprozesse emittiert. Somit werden Entwaldungen, die zwischen 1990 und 2008 erfolgen, nur zu einem Bruchteil (10 bzw. 20jährige „Abschreibung“) der tatsächlichen Emissionen angerechnet (Abb. 12).

In den Tropen werden häufig Wälder in Weideland umgewandelt. Hinzu kommen Grasländer, die als Folge einer Degradation des Waldes oder im Zusammenhang mit einer ausbleibenden Wiederaufforstung entstehen. Die Hauptänderung in der Kohlenstoffmenge erfolgt bei der Umwandlung durch Abholzen oder Verbrennen des Primärwaldes. Während die oberirdische Biomasse der Grasländer gering ist und dieser Teil der Kohlenstoffpools mit der Landnutzungsänderung verloren geht, kann es im Boden in Abhängigkeit von den Ausgangsbedingungen, der Art des Grasbestands und dem Management zu einer Anreicherung von Kohlenstoff kommen (de Moraes et al., 1996; Neill et al., 1997). Diese Anreicherung kann in den Tropen aber nur etwa 3–12% der oberirdischen Biomasse des Primärwaldes ausgleichen (Anhang Tab. 6).

6.1.4

Umwandlung von Wald in Acker

Auch die Umwandlung von Wald in Acker ist nach den IPCC-Richtlinien als Entwaldung zu inventarisieren.

Lal et al. (1998) geben eine Fläche von 750 Mio. ha für Wälder an, die seit Beginn des Ackerbaus bis zur Gegenwart in landwirtschaftlich genutzte Fläche umgewandelt wurden. Das entspricht einem Anteil von 45% an der gesamten Landnutzungsänderung. Bei einer angenommenen Freisetzung von 100% aus der Vegetation und 25% aus den Böden geben die Autoren für diesen Zeitraum einen Verlust von 96,5 Gt C aus der Vegetation und 24,5 Gt C aus den Böden an. Damit beträgt der mittlere Verlust der landwirtschaftlich genutzten Böden 33 t C ha⁻¹ und der oberirdischer Biomasse 128 t C ha⁻¹. Die aktuelle Umwandlung von Waldflächen in landwirtschaftliche Nutzflächen findet im wesentlichen in den Tropen statt. Zwischen 1980 und 1995 wurden in den Tropen jährlich etwa 13 Mio. ha Waldfläche umgewandelt. Davon entfallen etwa 86–94% auf Flächen für die Landwirtschaft. Etwa die Hälfte dieser Flächen (41–48%) wird durch Wanderfeldbau zur Eigenversorgung der Bevölkerung gerodet (BML, 1997a). Es ist davon auszugehen, daß 80–90% der oberirdischen Biomasse bei der Umwandlung entweder direkt bei der Flächenkonversion verbrannt werden oder als Brennholz verwendet werden. Das bedeutet bei Vorräten zwischen 50 t C ha⁻¹ (Trockenwald) und 186 t C ha⁻¹ (Regenwald) eine Freisetzung von 40–167 t C ha⁻¹ aus der Biomasse.

Wenn Wälder in landwirtschaftliche Nutzfläche umgewandelt werden, tritt neben den Verlusten an Biomasse generell ein Verlust an Bodenkohlenstoff auf, der je nach Klimabedingungen und Bewirtschaftungsmethoden schwankt. Die Angaben zu den Kohlenstoffverlusten bei der Umwandlung in Ackerland schwanken stark (Anhang Tab. 7), im Mittel betragen sie 25–30% bezogen auf 1 m Profiltiefe (Houghton, 1995; Davidson und Ackermann, 1993). In den IPCC-Richtlinien von 1996 werden sie im Mittel mit 25–40% des Bodenkohlenstoffs angegeben (Detwiler, 1986; Schlesinger, 1986; Mann, 1986). Generell sind die Verluste im Pflughorizont (0–20 cm) am größten. Hier beträgt die Minderung der Bodenkohlenstoffvorräte rund 40% (Davidson und Ackermann, 1993). Je nach absoluter Höhe der Vorräte in den Böden sind die Verluste trotz gleichen prozentualen Anteils deutlich verschieden. Die Konversion auf Cambisols (relativ junge, mäßig verwitterte Böden) führt beispielsweise zu Verlusten von 85 t C ha⁻¹, während die Konversion von Rendzic Leptosols (deutlich vom Ausgangsgestein z. B. Kalk, Gips oder

Anhydridgestein geprägte Böden) im Mittel nur zu Verlusten von 40 t C ha⁻¹ führt. Differenziert man nicht nach Bodentypen, sondern nach Vegetationszonen, zeigt sich für die Tropen, daß bei der Konversion von Regenwald 45 t C ha⁻¹ der Bodenkohlenstoffvorräte abgebaut werden, während bei der Konversion von Trockenwald 16,5 t C ha⁻¹ freigesetzt werden (Detwiler, 1986). Im Mittel bedeutet das für die tropischen Böden ein Kohlenstoffverlust von 24,5 t C ha⁻¹ (Eswaran et al., 1993). Allen Beispielen liegt eine Verlustrate von 25% bezogen auf 1 m Profiltiefe zugrunde.

Die Angaben zu den Kohlenstoffverlusten von Böden sind so unterschiedlich, weil unterschiedliche Tiefen betrachtet werden und Ergebnisse aus unterschiedlichen ökologischen Regionen und Bewirtschaftungsweisen vorliegen. Globale Mittelwerte sind daher zur Berechnung von Freisetzung und Veränderung von Vorräten nicht hilfreich. Neben der Quantität ändert sich auch die Qualität des organischen Materials – durch die Eingriffe ändert sich oft die Lagerungsdichte der Böden, Oberbodenmaterial gelangt in den Unterboden, Erosion tritt auf und erschwert somit die Vergleichbarkeit zwischen Waldböden und kultivierten Böden (Johnson, 1992).

Oftmals finden sich nur Angaben über die obersten 30–40 cm. Auch die IPCC-Richtlinien erfassen nur die obersten 30 cm Boden. Neuere Untersuchungen aus den Tropen weisen darauf hin, daß der Kohlenstoff aus dem Unterboden unterschätzt wurde (Veldkamp, 1998; Brown, 1996) und zumindest 10% der Gesamtverluste aus dem ersten Profilmeter ausmacht (van Noordwijk et al., 1997).

Die größten Verluste des Kohlenstoffs treten innerhalb der ersten 20 Jahre nach der Nutzungskonversion auf, wobei der Abbau exponentiell verläuft, d. h. der Großteil der Kohlenstoffverluste innerhalb der ersten 5 Jahre nach der Flächenumwandlung erfolgt. Dies gilt besonders für die Tropen. Bei Böden mit hohen Kohlenstoffvorräten und klimatisch bedingten, langsameren Freisetzungsraten kann der Abbau über mehrere Jahrzehnte anhalten. Scholes und Scholes (1993) geben eine Dauer von 20–50 Jahren an. Im Mittel stellt sich auf niedrigerem Niveau ein neues Gleichgewicht nach 30–50 Jahren ein (Arrouays et al., 1995; Brown und Lugo, 1990; Houghton, 1991). Neben den klimatischen Bedingungen sind sowohl die Verlustraten als auch die Höhe der absoluten Verluste von der Höhe der Kohlenstoffvorräte der Böden abhängig.

Bislang ist der Akkumulation von Holzkohle nur wenig Beachtung geschenkt worden. Klein Goldewijk und Vloedveld (1995) geben beim Abbrennen einen Transfer von 2% aus dem Stammholz und 1% aus Blättern und Ästen in den langsam abbaubaren bis inerten Kohlenstoffpool der Holzkohle an. Für

die Umwandlung von Primärwäldern in den Tropen bedeutet das bei ursprünglichen Kohlenstoffvorräten von 120–190 t C in der Biomasse, daß etwa 3,2–5,1 t C ha⁻¹ als Holzkohle festgelegt werden.

6.1.5

Umwandlung von Grasland in Acker

Die Umwandlung von Grasland in Acker fällt nach Art. 3 Abs. 3 nicht unter die als Senke oder Quelle anzurechnenden menschlichen Aktivitäten. Sie führt aber zu beträchtlichen Verlusten an gespeichertem Kohlenstoff, die von der gleichen Größenordnung sein können wie bei der Entwaldung.

Die Angaben zu den Änderungen der Bodenkohlenstoffvorräte nach der Konversion in Ackerflächen reichen von leichten Zuwächsen (2,5%) bis zu Verlusten von 47% (Bouwman, 1990). Auch hier lassen sich die Untersuchungsergebnisse nicht direkt vergleichen, weil sie auf verschiedene Tiefen Bezug nehmen, unter verschieden langer Nutzungsdauer vorgenommen wurden und aus verschiedenen Regionen stammen. Trotz der Unterschiede werden als globaler Mittelwert Verluste von 20–30% des Bodenkohlenstoffvorrats bei 1 m Bezugstiefe angegeben. Je nach Kohlenstoffvorräten der konvertierten Böden treten auch auch bei gleichen prozentualen Verlusten in den Absolutwerten gravierende Unterschiede auf (Anhang Tab. 8). Die Konversion eines Chernozems (humusreicher Boden temperater Grasländer) führt beispielsweise zu einer Reduzierung der Kohlenstoffvorräte um 80 t C ha⁻¹, die Konversion eines Solontchaks (Salzboden der ariden und semiariden Regionen) lediglich um 30 t C ha⁻¹.

Nach Lal et al. (1998) beträgt die bereits in Äcker umgewandelte Fläche von Grasländern weltweit 660 Mio. ha. Die ursprünglichen Bodenkohlenstoffvorräte gibt er mit 76,5 Gt C an. Bei Verlusten von 25% tritt eine Vorratsänderung von 19 Gt C auf, das entspricht 29 t C ha⁻¹. Die Bodenkohlenstoffvorräte reduzieren sich von 116 t C ha⁻¹ unter Grasland auf 87 t C ha⁻¹ unter Ackernutzung. Für die Biomasse werden Verluste von 7,7 Gt C angegeben. Das entspricht einer Abnahme der Vorräte um 11,4 t C ha⁻¹.

Bei den Grasländern treten enorme Unterschiede in den Kohlenstoffvorräten zwischen den tropischen und den temperaten Grasländern auf. Tropische Grasländer weisen eine doppelt so hohe Biomasse auf, haben aber weniger als ein Viertel des Bodenkohlenstoffvorrats verglichen mit den temperaten Grasländern. Das Vorratsverhältnis von Bodenkohlenstoff zu Biomasse beträgt etwa 25:1 in den temperaten Grasländern und 3:1 in den tropischen Grasländern. Die zukünftigen Nutzungsänderungen werden vor allem in den Tropen stattfinden, so daß mit

geringeren Verlusten als beim globalen Mittelwert gerechnet werden kann. Bei gleichen prozentualen Verlusten betragen die absoluten Verluste 10,7 t ha⁻¹ aus den Bodenkohlenstoffvorräten und 15,5 t C ha⁻¹ aus der Biomasse, liegen also 36% unter den oben aufgeführten globalen Mittelwerten.

Entsprechend den Verhältnissen bei der Konversion von Wald in Acker treten die größten Verluste an Bodenkohlenstoff in den ersten 20 Jahren nach der Nutzungskonversion auf. Die Abnahme verläuft exponentiell, und es stellt sich über einen Zeitraum von 30–100 Jahren ein neues Gleichgewicht auf niedrigerem Niveau ein.

6.1.6

Umwandlung von Feuchtgebieten

Die Umwandlung von Feuchtgebieten in andere Nutzungen wird im Gegensatz zur Entwaldung derzeit nach Art. 3 Abs. 3 nicht auf die Emissionen der Industrieländer angerechnet.

Feuchtgebiete stellen pro Flächeneinheit weltweit die größten Kohlenstoffvorräte im Boden dar. Aufgrund der anaeroben Verhältnisse und zumeist geringen Nährstoffverfügbarkeit ist der Abbau der organischen Substanz stark gehemmt, und es kommt trotz geringer NPP zu einer stetigen Vorratserhöhung. Nichtentwässerte Histosole (ein Bodentyp, der typischerweise mit Feuchtgebieten assoziiert ist) fixieren beispielsweise 0,14 Gt C Jahr⁻¹ (Armentano, 1980 nach Lugo et al., 1990). In Finnland zeigte Silvola (1986), daß Moore mit einer Aufnahme von 0,25 t C ha⁻¹ Jahr⁻¹ Senken darstellen. Gorham (1991) gibt für die torfbildenden Feuchtgebiete der nördlichen Breiten eine jährliche Vorratserhöhung von 0,29 t C ha⁻¹ an. Global schätzt er diese Feuchtgebiete als eine Senke mit einem Kohlenstofffluß von -0,1 Gt C Jahr⁻¹ ein (Anhang Tab. 9a).

Werden torfbildende Feuchtgebiete trockengelegt und damit in Nutzflächen umgewandelt, so werden durch die einsetzende Mineralisierung der Kohlenstoffvorräte hohe Kohlenstoffflußdichten erzeugt. Bouwman (1990) gibt Verluste in den Anfangsjahren von 10 t C ha⁻¹ Jahr⁻¹ an. In Großbritannien werden die Verluste der Moore bei Kultivierung auf 5 t C ha⁻¹ Jahr⁻¹ geschätzt (Adger, 1994). Silvola et al. (1996) geben für Finnland Verlusten von ca. 2,5 t C ha⁻¹ Jahr⁻¹ nach der Trockenlegung an. Maltby und Immirzy (1993) schätzen die Verluste durch Umwandlung in landwirtschaftliche Nutzfläche auf 0,063–0,085 Gt C Jahr⁻¹ im temperaten Bereich und 0,053–0,114 Gt C Jahr⁻¹ in den Tropen ab (Anhang Tab. 9b, c).

In der Diskussion um die Umwandlung von Feuchtgebieten muß für eine Beurteilung des Quellen- und Senkenpotentials neben den Flüssen von

Kohlendioxid auch die Flüsse von Methan und Lachgas berücksichtigt werden. Naturbelassene torfbildende Feuchtgebiete speichern geringe Mengen an Kohlendioxid, emittieren auch nur sehr geringe Mengen an Lachgas, dafür aber große Mengen an Methan. Im Gegensatz dazu werden bei der Umwandlung von Feuchtgebieten und der anschließenden Bewirtschaftung große Mengen an Kohlendioxid und Lachgas freigesetzt, während die Methanemissionen deutlich zurückgehen oder es sogar zur geringfügigen Methanaufnahme kommt. Da die angeführten Gase eine unterschiedliche Verweildauer in der Atmosphäre besitzen und verschiedenartigen chemischen Reaktionen in der Atmosphäre unterliegen, besitzen sie ein unterschiedliches Treibhauspotential (Global Warming Potential, GWP). Jüngere Untersuchungen zeigen für Finnland, Schweden und die Niederlande, daß die naturbelassenen Feuchtgebiete zwischen $0,16 \text{ t C ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$ und $0,25 \text{ t C ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$ an Kohlenstoff akkumulieren. Die Methanfreisetzung von $0,075 \text{ t C ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$ bis $0,15 \text{ t C ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$ führt aber dazu, daß die Feuchtgebiete bei Berücksichtigung des GWP von Methan (25, Zeithorizont 100 Jahre) zu einer Quelle werden, die einer CO_2 äquivalenten Emission von $0,43\text{--}1,1 \text{ t C ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$ entspricht (Kasimir-Klemetsson et al., 1997). Stellt man die gleiche Bilanz für die Umwandlung von Feuchtgebieten in landwirtschaftliche Nutzfläche auf, so ermittelt die Autoren je nach Nutzung eine Kohlenstofffreisetzung aus dem organischen Material von $1\text{--}19 \text{ t C ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$, während die Methanemissionen vollständig zurückgehen. Durch die erhöhten Lachgas-Emissionen erhöht sich die Quellstärke der konvertierten Gebiete im Vergleich zu den natürlichen Feuchtgebieten beträchtlich und steigt auf Raten von $3,8\text{--}19 \text{ t C ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$ (CO_2 äquivalente Emission) an.

6.1.7

Konversion von Grasland und Acker in Wald

Es existieren in der Literatur eine Vielzahl von Abschätzungen der für Aufforstungen zu Verfügung stehenden Flächen. Diese sind nur schwer vergleichbar, da die Kriterien der Flächenauswahl nicht einheitlich sind. Eine Kombination von ökologischen und sozioökonomischen Kriterien als Grundlage der Flächenauswahl ist bislang global nicht durchgeführt worden. Erst Trexler und Haugen (1995) sowie Nilsson und Schopfhauser (1995) berücksichtigen sozioökonomische Kriterien bei der Ermittlung des Flächenpotentials von Aufforstungsmaßnahmen. Ähnlich verhält es sich bei den Angaben zu den Kohlenstoffflüssen und -vorräten. Neben verschiedenen Verfahren zur Feststellung der mittleren Kohlenstoffvorräte unterscheiden sich die Bilanzen durch

die Berücksichtigung oder Nichtberücksichtigung von Wurzelmasse, Bodenkohlenstoff und des Speicherungspotentials von Forstprodukten. Die IPCC-Richtlinien vernachlässigen die unterirdische Biomasse und die Bodenvorräte. Forstprodukte werden in den Inventaren nach der Standardmethode nicht berücksichtigt (es wird angenommen, daß sie im gleichen Jahr abgebaut werden, in dem sie produziert werden).

Frühere Abschätzungen, die von sehr hohen Kohlenstoffflußdichten ($6,2 \text{ t C ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$; Sedjo und Solomon, 1989) und Flächenpotentialen (1,2 Mrd. ha; Winjum et al., 1992) ausgingen, mußten deutlich nach unten korrigiert werden. Die jüngste Studie von Nilsson und Schopfhauser (1995) ergibt ein verfügbares Flächenpotential von 344,8 Mio. ha und eine mittlere Kohlenstoffflußdichte von $3 \text{ t C ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$. Von diesem Flächenpotential entfallen 69,7 Mio. ha auf Agroforstmaßnahmen und 275,1 Mio. ha auf andere Aufforstungsmaßnahmen. Die Flächen verteilen sich mit 130,2 Mio. ha auf die Tropen, 119,5 Mio. ha auf den temperaten und 95,1 Mio. ha auf den borealen Bereich. Die Kohlenstoffvorräte werden für diese Flächen bis zum Jahr 2050 mit 37,7 Gt C und bis zum Jahr 2095 mit 104 Gigatonnen C angegeben. Die Potentiale für hohe Flußdichten und damit höhere mittlere Vorräte für den Betrachtungszeitraum sind vor allem in den Tropen und den temperaten Bereichen vorhanden und 4 bzw. 3–8mal so hoch wie im borealen Bereich (Anhang Tab. 10). Degradiertere und aus der landwirtschaftlichen Nutzung genommene Flächen bilden ein Flächenpotential von mindestens 90 Mio. ha (Abb. 9). Unter den von Nilsson und Schopfhauser (1995) geschätzten Annahmen bilden sie einen mittleren Vorrat von 9 Gt C bis zum Jahr 2050 bzw. von 28 Gt C bis zum Jahr 2095 (Busch und Mund, 1998).

Grundsätzlich bieten sich verschiedene Optionen für Aufforstungsmaßnahmen. Schnellwüchsige Energie- oder Industrieholzplantagen oder an die natürliche Vegetation angelehnte Mischwälder zeigen die Bandbreite der Möglichkeiten auf. Die erste Variante verzeichnet hohe Zuwachsraten, bildet jedoch geringe Bestandesvorräte. Akkumulation von Kohlenstoff im Boden und in der organischen Auflage findet statt, verbleibt aber aufgrund der kurzen Umtriebszeiten und der verhältnismäßig geringen Biomasse im Bestand auf geringem Niveau (Abb. 11d). Die zweite Variante besitzt deutlich geringere Zuwachsraten, bildet aber über längere Zeiträume (60–200 Jahre) wesentlich höhere Kohlenstoffvorräte im Bestand. Aufgrund der größeren Biomasse und der höheren Bestandsabfälle bilden sich ebenfalls größere Vorräte in der organischen Auflage und dem Boden.

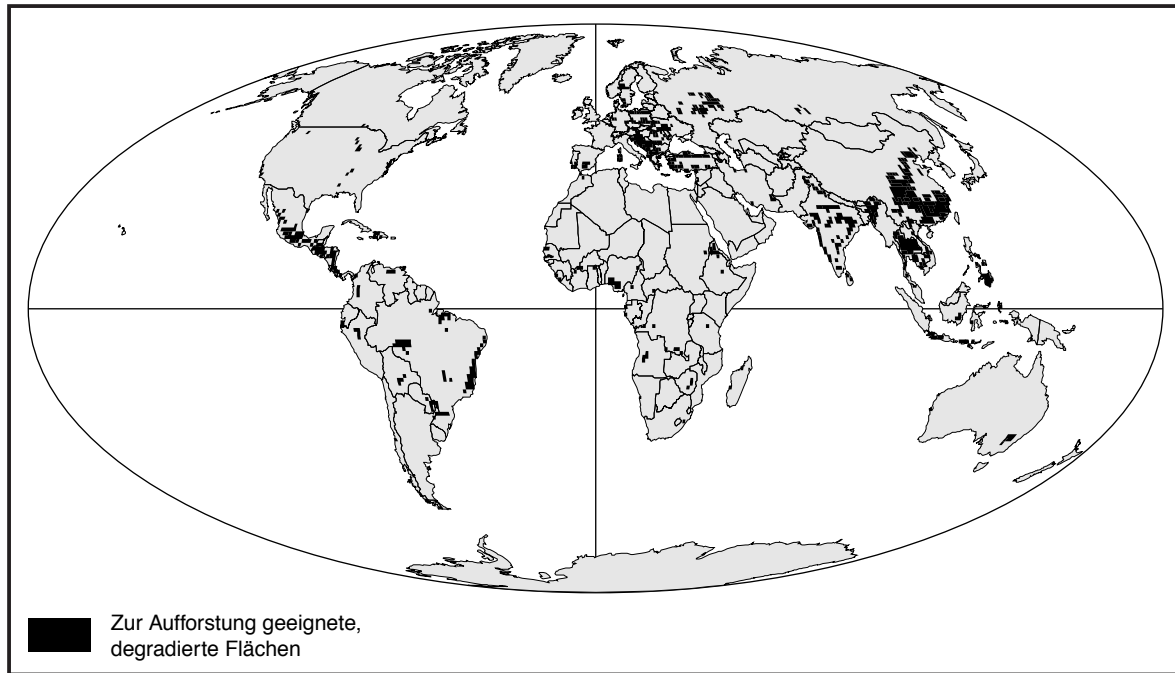


Abbildung 9

Moderat bis stark degradierte Böden aus landwirtschaftlicher Nutzung, die als ehemalige Waldstandorte zur Aufforstung geeignet sind.

Quellen: WBGU mit Daten von Oldeman (1992) und Matthews (1983)

Kohlenstoffvorratsberechnungen von Aufforstungsmaßnahmen sind abhängig von der Holznutzung und variieren je nachdem, ob der mittlere Bestandsvorrat, der akkumulative Speicher durch Energiesubstitution und/oder der Lebenszyklus der resultierenden Produkte Berücksichtigung finden. In den IPCC-Richtlinien wird die Speicherung von Kohlenstoff in Holzprodukten nicht berücksichtigt.

Insgesamt sind die Angaben zu den Vorräten und Flußraten vor allem für den Bodenkohlenstoff mit großen Unsicherheiten behaftet, da die Datendichte gering ist, die räumliche Variabilität hoch und die Erhebungen aufgrund methodischer Defizite oftmals nicht miteinander vergleichbar sind.

6.1.8

Forstmanagement

Maßnahmen des Forstmanagements, die über Aufforstungen und Entwaldungen hinausgehen, werden nach Art. 3 Abs. 3 des Kyoto-Protokolls nicht angerechnet. Sie können aber Einfluß auf die Quellen- und Senkenwirkung von Wäldern haben.

Grundsätzlich ist nicht zu bezweifeln, daß forstliche Maßnahmen wie schonende Ernteverfahren (Baumschutz, Bodenschutz), Verlängerung der Umtriebszeiten, Sicherung der Verjüngung (vor Verbiß,

Lawinen, Erosion etc.), Schutz vor Schädlingen etc. die Senkenfunktion von Wäldern schützen. Das Senkenpotential solcher Maßnahmen ist jedoch im Vergleich zum Potential von Aufforstung oder Wiederaufforstung gering (IPCC, 1996b).

Neben der Umtriebszeit (Kap. 6.1.1) kann vor allem das Ernteverfahren einen Einfluß auf die nutzungsbewusste Kohlenstoffbilanz bewirtschafteter Wälder haben. Je intensiver die organische Auflage und der Boden durch die Ernte gestört werden, desto höher und dauerhafter sind die Kohlenstoffverluste (Johnson, 1992; Jurgensen et al., 1997; Pritchett und Fisher, 1979; Burschel et al., 1993; Mund und Busch, 1998).

Eine weitere wichtige Größe bei der Abschätzung des Senkenpotentials durch die Forstwirtschaft sind die Kohlenstoffvorräte in langlebigen Holzprodukten und die Substitution fossiler Energieträger durch Holz. Durch langlebige Holzprodukte kann die Menge gespeicherten Kohlenstoffs nur dann erhöht werden, wenn zum einen der Bedarf und damit der Vorrat an Holzprodukten steigt, die neuen Holzprodukte also nicht nur die alten ersetzen, und zum anderen die Lebensdauer der Holzprodukte länger ist als die Umtriebszeit der Plantagen oder Wirtschaftswälder (Attiwill, 1994; Cannell et al., 1992; Harmon et al., 1990; Dewar, 1991; Dewar und Cannell, 1992; Karjalainen, 1996). *Der Ersatz fossiler Energieträger*

durch Holz ist nur begrenzt oder auf Kosten der Senken- und anderer Waldökosystemfunktionen möglich. Zusätzlich müssen bei dieser Form der Nutzung in der Gesamtbilanz auch die Energieaufwendungen für die Investitionen und den Transport des Holzes berücksichtigt werden. *Nach dem Schutz von unbewirtschafteten Primärwäldern stellt die selektive Baumnutzung, die eine große stehende Bestandsbiomasse erlaubt (Plenterwald), die wahrscheinlich günstigste Option für eine möglichst hohe Kohlenstofffestlegung in Wäldern dar* (Fischlin, 1996). Allerdings ist diese Betriebsform nicht auf allen Standorten und vermutlich nicht in allen Klimazonen möglich.

Fichtenmonokulturen und Laubmischwald haben zwar nicht grundsätzlich unterschiedliche Kohlenstoffvorräte. Dennoch ist zu betonen, daß die Umwandlung der Wälder in Monokulturen erhebliche Einflüsse auf die Biodiversität, die Qualität des Bodens und damit auf die Betriebssicherheit und Nachhaltigkeit dieser Wälder hat. Dieser Nachhaltigkeitsaspekt ist unter Berücksichtigung der Langfristigkeit des Betriebsziels (Ernte nach mehr als 50 Jahren) von großer ökonomischer Bedeutung.

6.1.9

Optionen zur Kohlenstoffspeicherung unter landwirtschaftlicher Nutzung

Landwirtschaftliche Nutzung ist generell mit einer Reduzierung der Kohlenstoffvorräte im Boden und der Biomasse verbunden. Starke Quellen für Kohlenstoff sind die neu konvertierten landwirtschaftlichen Nutzflächen, während lang genutzte Agrarflächen keine Quellen mehr darstellen, weil sich bei ihnen bereits ein neues, niedrigeres Kohlenstoffgleichgewicht eingestellt hat. Aufgrund des anhaltenden Bevölkerungswachstums werden die jährlich neu unter landwirtschaftliche Nutzung genommenen Flächen auf 15 Mio. ha geschätzt (Cole et al., 1993).

Eine Erhöhung der Kohlenstoffvorräte in landwirtschaftlichen Kulturen ist nur über die Erhöhung der Biomasse und die Hemmung des Kohlenstoffabbaus im Boden möglich. Dazu stehen verschiedene Optionen zur Verfügung, die in ihrer jeweiligen Anwendung sehr abhängig von den regionalen Gegebenheiten (z. B. Temperatur, Niederschlagsverteilung und -höhe, Wasserlimitierung) sind. Als Optionen zur Kohlenstoffspeicherung unter landwirtschaftlicher Nutzung bieten sich dazu ein Nebeneinander von verbesserter oder reduzierter Bodenbearbeitung, Nährstoff- und Wassermanagement sowie der Erosionskontrolle an (Abb. 10).

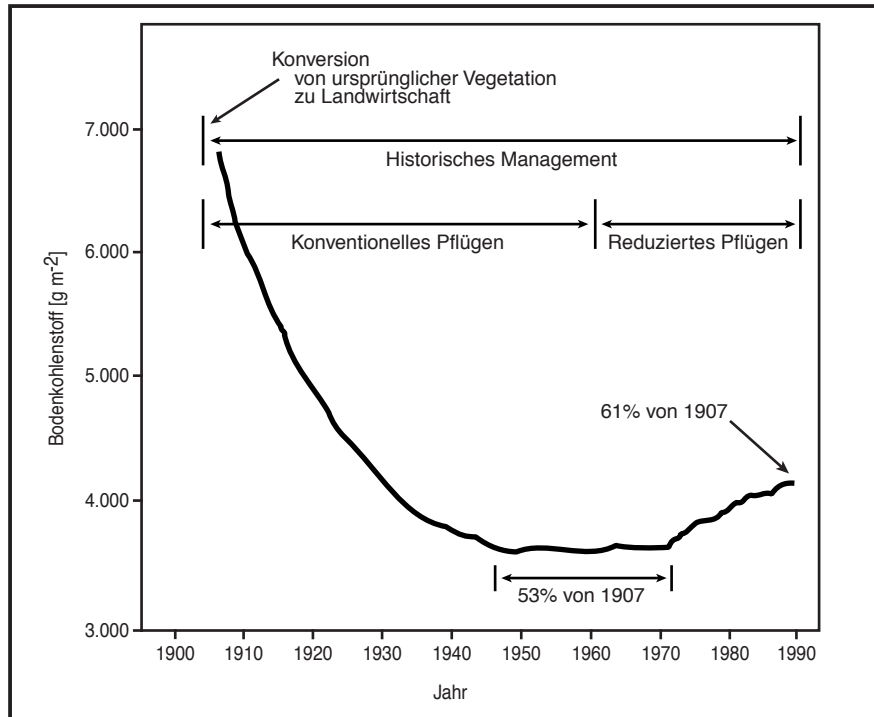
Nach Schätzungen des IPCC können unter der Annahme, daß durch verbessertes Bodenmanagement, Flächenstilllegungen und Wiederherstellung

von degradierten Flächen 50–75% des verlorenen Bodenkohlenstoffs wieder festgelegt werden können, in den nächsten 50 Jahren etwa 23–44 Gt Kohlenstoff in landwirtschaftlich genutzten Böden gespeichert werden. Das entsprächen 0,43–0,88 Gt C Jahr⁻¹ oder 13–27% der aktuellen jährlichen Zunahme der atmosphärischen CO₂-Konzentration.

Sauerbeck (1993) gibt für die Ackerböden der temperaten Zone bei optimalem Bodenmanagement eine Steigerung des Kohlenstoffvorrats von 10 t C ha⁻¹ in einem Zeitraum von 50–100 Jahren an. Das entspräche einer Steigerung des Bodenkohlenstoffgehalts um etwa 10% und bei einer Ausdehnung des temperaten Ackerlandes von 690 Mio. ha einer Speicherung von 6,9 Gt C. In anderen Regionen, besonders den Tropen, muß davon ausgegangen werden, daß in vielen Böden keine nennenswerten zusätzlichen Kohlenstoffmengen gespeichert werden können. Ein Beispiel sind die Aridisols, die im Durchschnitt nur 4,2 t C ha⁻¹ enthalten und in den ariden Klimaten einem starken Nutzungsdruck ausgesetzt sind. Dabei können z. B. Ernterückstände nicht zum Aufbau des Humusspiegels eingesetzt werden, weil sie als Futter und Brennmaterial dienen.

Als erreichbares globales Ziel wird von verschiedenen Autoren die zusätzliche Speicherung von 0,5 t C ha⁻¹ in den nächsten 50 Jahren angesehen, was einem Vorrat von 7 Gt C entsprechen würde und deutlich unter dem optimistischen Szenario des IPCC liegt.

Eine andere Möglichkeit der Landwirtschaft, Kohlenstoff indirekt zu fixieren, besteht darin, Biomasse zu produzieren, die als Substitut für fossile Brennstoffe eingesetzt werden kann. Das Flächenpotential für den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen wurde 1993 von Cole für die Vereinigten Staaten und die Europäische Union auf 50–60 Mio. ha geschätzt. Die Produktion von Gräsern oder schnellwüchsigen Bäumen in Plantagen zur Energiegewinnung kann zu größeren Einsparungen von fossilen Brennstoffen führen und wird vom IPCC als eine der wesentlichen Managementoptionen der Landwirtschaft zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen angesehen. Die Höhe der CO₂-Einsparung bei Substitution fossiler Energieträger durch nachwachsende Rohstoffe ist abhängig vom Netto-Energieertrag der Bioenergieerzeugung (Energieinput während des Wachstums, der Ernte und der Weiterverarbeitung) und durch die treibhauswirksamen Emissionen während des Wachstums bestimmt. Untersuchungen in Deutschland (Flessa et al., 1998) zeigen, daß im Vergleich von intensiv und extensiv bewirtschafteten Pappel-, Raps- und Kartoffelkulturen lediglich die Pappelkulturen zur CO₂-Emissionsminderung beitragen. Für sie wurde ein maximales Kohlenstoffspeicherungspotential von 4,2 t C ha⁻¹ Jahr⁻¹ er-

**Abbildung 10**

Simulierte Veränderung des gesamten Kohlenstoffvorrats im Boden (SOC für eine Tiefe von 0 bis 20 cm) für die zentralen Getreideproduktionsgebiete der USA. Die Zeitpunkte, an denen der Kohlenstoffgehalt 53% und 61% des ursprünglichen Gehalts (vor der Konversion in Ackerfläche 1907) erreicht, sind gekennzeichnet.

Quelle: Matson et al., 1997

mittelt. Gleichzeitig wiesen die Pappelkulturen mit $200 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$ auch den höchsten Netto-Energieertrag auf. Es zeigte sich, daß der Beitrag zur Minderung der treibhauswirksamen Emissionen durch Biomasseproduktion ganz entscheidend von der Höhe der N_2O -Emissionen abhängt, da sie in den betrachteten Kulturen die steuernde Größe für die CO_2 -Bilanz waren.

6.2

Indirekte menschliche Einflüsse

Nach Art. 3 Abs. 3 des Kyoto-Protokolls werden nur direkte menschliche Tätigkeiten auf die Verpflichtungen angerechnet. Damit werden indirekte Effekte, die durch die menschlich verursachte Stickstoff-Deposition, steigende Kohlendioxidkonzentration oder Klimaänderungen auf die Quellen- und Senkenwirkung terrestrischer Ökosysteme zurückwirken, nicht berücksichtigt. Dennoch ist die Abschätzung dieser indirekten Effekte von großer Bedeutung, will man die zukünftige Entwicklung des Senkenpotentials terrestrischer Ökosysteme prognostizieren.

6.2.1

Veränderung der Quellen und Senken durch Stickstoffdeposition

Der Kohlenstoff- und Stickstoffhaushalt sind eng miteinander gekoppelt, z. B. bei der Photosynthese und der Speicherung und Akkumulation von Stickstoff in organischen Verbindungen. Eine parallele Zunahme sowohl der atmosphärischen Kohlendioxidkonzentrationen als auch der Stickstoffverfügbarkeit könnte über eine Zunahme des Wachstums zu einer erhöhten Festlegung von Kohlenstoff in der Biosphäre führen (Düngeeffekt). Es muß geklärt werden, ob diese Extrapolation aus physiologischen Versuchen zutrifft.

In Europa sind die Bestandszuwächse seit 1950 deutlich gestiegen (Franz et al., 1993; Hofmann et al., 1990; Röhle, 1995; Spiecker et al., 1996). Dies ist neben Änderungen der forstlichen Nutzung (Verbot der Streunutzung) auf den zeitgleichen Anstieg der Stickstoffdepositionen zurückzuführen. *Neben der bedingt wachstumsfördernden Wirkung haben Stickstoffeinträge eine Reihe negativer Nebenwirkungen* (Bodenversauerung und Kationenverluste bis hin zur Aluminiumfreisetzung, Reduzierung der Biodiversität und Destabilisierung der Ökosysteme, Beeinträchtigung des Grundwassers durch Nitrat, Lachgasemissionen stickstoffgesättigter Wälder). Die „Neuartigen Waldschäden“ haben in besonders schwer geschädigten Gebieten dazu geführt, daß durch Selbstausdünnung oder forstliche Maßnah-

men Waldbestände aufgelichtet wurden und die oberirdische Biomasse nicht proportional zu den Zuwächsen anstieg (Pretzsch, 1996; Landmann und Bonneau, 1995; Mund, 1996). *Die infolge hoher Stickstoffdeposition beobachtete Akkumulation von Humus (Berg und Matzner, 1997) ist nur eine sehr kurzfristige Kohlenstoffsенke.* Zum einen werden auch Kationen im Humus festgelegt, was die Nährstoffgleichgewichte verstärkt (Vergilbungen, Waldschäden), zum anderen besteht das Risiko, daß die akkumulierte Streu im Falle eines Kahlschlages sehr plötzlich mineralisiert wird und große Mengen an Nitrat und Kohlendioxid freigesetzt werden.

Aber auch ohne die schädigende Wirkung hoher Stickstoffdepositionen sind hohe Zuwächse nicht gleichbedeutend mit einer langfristigen Speicherung von Kohlenstoff. Im forstlichen Betrieb werden die Wälder bei einer bestimmten Zielgröße geerntet, d. h. hohe Zuwächse verkürzen die Umtriebszeiten und erhöhen möglicherweise die Rotation von Kohlenstoff, nicht aber die Vorräte (Abb. 11).

Auch wenn für die Zukunft ein weltweiter Anstieg der Stickstoffdepositionen erwartet wird, kann die in Europa beobachtete wachstumsfördernde Wirkung nicht global extrapoliert werden (Anhang Tab. 11). Hier müssen weitere Standortfaktoren (und wachstumslimitierende Bedingungen) sowie Landnutzungsänderungen berücksichtigt werden. Beispielsweise ist in den tropischen Tiefländern Phosphat und nicht Stickstoff der limitierende Faktor (Vitousek, 1984; Tanner et al., 1998).

6.2.2

Veränderung der Quellen und Senken durch höhere atmosphärische Kohlendioxidkonzentrationen (Kohlendioxid-Düngungseffekt)

Die Wirkungen einer erhöhten Kohlendioxidkonzentration auf das Wachstum und die Kohlenstoffvorräte im Boden wurden in letzten Jahren intensiv untersucht. In bezug auf die Kohlenstoffbilanz kam man zu folgenden Ergebnissen:

- Die Netto-Primärproduktivität (NPP) in landwirtschaftlichen Kulturen steigt, sofern alle übrigen Faktoren optimal sind, proportional zur Kohlendioxidkonzentration an. *Die erhöhte NPP stellt dennoch keine globale Kohlenstoffsенke dar, da die Produkte unmittelbar geerntet und wieder in Kohlendioxid überführt werden und da im gleichen Ökosystem Freisetzungen von Kohlendioxid durch die Bodenatmung stattfinden.*
- *Die NPP in natürlichen Vegetationen steigt bei einer Verdopplung der CO₂-Konzentration um vermutlich nur 5% (Mooney et al., 1998).* Diese Bewertung berücksichtigt bereits die Einflüsse von

erhöhtem Kohlendioxid auf die Photosynthese (Downregulation, Ernährung und Wasserhaushalt).

- *Die geringe, durch Kohlendioxid bedingte Steigerung der NPP wird vermutlich bereits in den nächsten 30 Jahren durch eine temperaturbedingte Steigerung der Atmung kompensiert werden (siehe unten; Scholes et al., 1998) (Abb. 7).*

6.2.3

Veränderung der Quellen und Senken durch Klimaveränderungen

Da die Photosynthese einer Sättigungsfunktion folgend primär vom Licht gesteuert wird und mit zunehmender Wolkenbedeckung und Aerosolkonzentration in der Atmosphäre eher mit einer Abnahme als mit einer Zunahme der Photosynthesekapazität zu rechnen ist, wird die globale Kohlenstoffbilanz in Zukunft primär durch die temperaturbedingte, exponentielle Zunahme der Atmung bestimmt werden (Abb. 7). Es wird erwartet, daß die Atmung in den nächsten 30–50 Jahren die derzeitige Assimilation übersteigen wird. Es gibt Vorhersagen verschiedener Modelle (z. B. CENTURY), daß *die derzeitigen Kohlenstoffsенken dann zu -quellen werden, auch wenn sich die Landnutzung nicht ändert* (Scholes et al., 1998; Mooney et al., 1998). Im borealen Nadelwald werden bereits jetzt mit der Variabilität der jährlichen Witterung am gleichen Standort Netto-Kohlenstoffemissionen und -assimilationen beobachtet.

6.2.4

Quellen durch Feuer und andere episodische Störungen

Feuer ist in vielen Vegetationen (mediterrane Vegetationen, borealer Wald) ein notwendiger Faktor in der Entwicklung der Pflanzen. Die natürliche Feuerhäufigkeit ist abhängig von den klimatischen Bedingungen. Im sibirischen Nadelwald beispielsweise treten Feuer alle 30–50 Jahre auf. Diese Frequenz ist in der Umgebung von Siedlungen durch den Menschen signifikant gestiegen (Korovin, 1996). Bemerkenswert ist, daß die Freisetzung von Kohlenstoff durch Feuer geringer sein kann als die durch eine Rodung der Wälder (Harmon et al., 1990). In den Tropen ist Feuer zu einem neuen vegetationsbestimmenden Faktor geworden. Feuer führt hier zu einer Degradation des Waldes bis hin zur Ausbreitung feuerresistenter Grasarten. Der sich durch die Gräser etablierende jährliche Feuerzyklus unterdrückt über viele Jahre hinweg die Waldregeneration (Asner et al.,

1997). Ein Beispiel hierfür sind die großen Flächen (15 Mio. ha) von Imperata-Grasländern in Ostasien.

In Kanada betrug der jährliche Verlust an Holzvolumen durch Insekten und Krankheiten zwischen 1982 und 1987 102,8 Mio. m³ Holz. Im Vergleich dazu vernichtete Feuer 36 Mio. m³, geerntet wurden 160 Mio. m³ (Volney, 1996).

Neben dem unerwünschten Effekt einer CO₂-Freisetzung hat Feuer durch die Bildung von Holzkohle auch einen positiven Effekt auf die globale Kohlenstoffbilanz. Etwa 3% der verbrannten Biomasse werden in Holzkohle umgesetzt (Houghton, 1991; Klein Goldewijk und Vloedveld, 1995). Crutzen und Andreae (1990) schätzen für die Tropen einen Kohlenstofffluß in Holzkohle von 0,2–0,6 Gt C Jahr⁻¹. Im sibirischen Nadelwald beträgt der Anteil von Holzkohle in Humus und Mineralboden etwa 25%. Global wird die Bildung von Holzkohle auf 0,07 bis 0,24 Gt C Jahr⁻¹ (Kuhlbusch, 1994 nach Heimann et al., 1997) oder 0,044 Gt C Jahr⁻¹ (Heimann et al., 1997) geschätzt.

7 Bewertung

Der Beirat sieht sowohl im Schutz des Klimas als auch im Schutz der Biodiversität wichtige Ziele einer globalen Umweltpolitik (WBGU, 1996). Auch die Dringlichkeit des Bodenschutzes hat der Beirat immer wieder betont (WBGU, 1994). Die Idee einer Verbindung von Klimaschutz und Senkenschutz, wie sie durch eine Anrechnung von Senkenschutzmaßnahmen auf Klimaschutzverpflichtungen denkbar ist, wird vom Beirat deshalb grundsätzlich befürwortet. Es gibt eine Reihe von Handlungsoptionen, die gleichzeitig sowohl dem Schutz der Biodiversität als auch dem Schutz von Kohlenstoffspeichern oder der Schaffung von Senken dienen können. Dazu gehört etwa die Erhaltung von Feuchtgebieten und Primärwäldern, die, wie die vorliegende Studie zeigt, große und bislang stabile globale Kohlenstoffspeicher in Landökosystemen darstellen. Auch die Förderung von Aufforstungsmaßnahmen auf degradierten Flächen, auf denen keine landwirtschaftliche Nutzung mehr möglich ist, kann sowohl dem Klimaschutz, dem Bodenschutz wie auch dem Schutz der Biodiversität dienen.

Die im Prinzip sinnvolle Einbeziehung terrestrischer Senken bedarf einer dynamischen Betrachtung aller geologischen und ökologischen Vorräte und Flüsse auf kontinentaler, nationaler oder regionaler Ebene. Eine Verrechnung ist nur dann sinnvoll, wenn die unterschiedlichen Zeitkonstanten berücksichtigt werden.

Keine Einzelmaßnahme ermöglicht allerdings eine bedeutsame Einflußnahme auf die globale Kohlenstoffbilanz. Die vorliegende Studie zeigt, daß die Nutzung der Landökosysteme als Kohlenstoffsenke nur begrenzt möglich ist. Eine langfristige und dauerhafte Steigerung des Senkenpotentials land- und forstwirtschaftlich genutzter Ökosysteme über das Senkenpotential der natürlichen potentiellen Vegetation hinaus erscheint im großen Umfang nicht möglich. Die energiebedingten Emissionen können langfristig nicht durch die terrestrische Biosphäre kompensiert werden. Deshalb sind bei einem Versuch, terrestrische Quellen und Senken in den Reduktionsverpflichtungen für den Klimaschutz zu

berücksichtigen, sorgfältig Chancen und Risiken abzuwägen.

Diese Studie zeigt, daß die durch terrestrische Senken erreichbare Reduktion der Netto-Emissionen mit vielen Unsicherheiten und Unwägbarkeiten verbunden ist. Die terrestrischen Senken sind keineswegs konstant. Selbst bei geringfügigen Klimaänderungen können Senken zu Quellen werden, auch wenn die Netto-Primärproduktivität hoch ist. Zudem sind die mit terrestrischen Ökosystemen verbundenen Zeitskalen wegen der komplexen nichtlinearen Dynamik deutlich zu unterscheiden von den energiebedingten Prozessen, die den größten Beitrag an der menschlich verursachten globalen Erwärmung liefern.

Der Beirat begrüßt deshalb die Entscheidung des SBSTA (UNFCCC, 1998), das IPCC mit einem Sonderbericht zu beauftragen, in dem die methodischen, wissenschaftlichen und technischen Auswirkungen der relevanten Regelungen des Kyoto-Protokolls zur Anrechnung biologischer Quellen und Senken, insbesondere der organischen Substanz in den Böden, untersucht werden sollen.

Vor dem Hintergrund der in dieser Studie dargestellten Erkenntnisse zum Senkenpotential terrestrischer Ökosysteme bewertet der Beirat die Art der Anrechnung von Tätigkeiten im Bereich „Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“, wie sie im Kyoto-Protokoll geregelt wird, als unzureichend und verbesserungsbedürftig, den Zielen „Klimaschutz“ und „Schutz der biologischen Vielfalt“ gemeinsam zu dienen. Insbesondere wird dabei den genannten Unwägbarkeiten und Unsicherheiten sowie den unterschiedlichen Zeitskalen nicht Rechnung getragen. Auch kann die Art, wie einzelne Maßnahmen im forstwirtschaftlichen Bereich angerechnet werden, zu einer Reihe von negativen Anreizen sowohl für den Klimaschutz als auch für den Schutz der Biodiversität führen.

Hier wird offensichtlich, daß es bislang keine hinreichende Abstimmung zwischen den verschiedenen Zielen des Schutzes vor globalen Umweltveränderungen gibt. Es ist beispielsweise nicht geprüft worden, ob das Kyoto-Protokoll Anreize bietet, die den

Zielen der anderen Rio-Konventionen (Biodiversitätskonvention, Desertifikationskonvention) zuwiderlaufen könnten. Auch weitere Verhandlungsprozesse (z. B. das Intergovernmental Forum on Forests) sind nicht berücksichtigt worden. Hier wird ein grundsätzlicher Mangel der globalen Umweltpolitik deutlich (WBGU, 1996; WBGU, 1998). In diesem Zusammenhang begrüßt der Beirat die Entscheidung des SBSTA (UNFCCC, 1998), das IPCC untersuchen zu lassen, wie sich Maßnahmen zur Stärkung von Kohlenstoffsinken auf Wasser, Böden und Biodiversität auswirken. Auch die Beauftragung des FCCC-Sekretariats, den Informationsfluß zwischen den Sekretariaten der verschiedenen Konventionen (Biodiversität, Degradation der Wüsten) und Organisationen (Intergovernmental Forum on Forests, FAO) zu verbessern, ist dringend notwendig.

Diese Einschätzungen werden im folgenden im einzelnen begründet. Zunächst werden die grundsätzlichen Schwierigkeiten einer Verrechnung von terrestrischen Senken mit energiebedingten Emissionen dargestellt. Daraufhin wird auf die Probleme eingegangen, die mit der im Kyoto-Protokoll geregelten Anrechnung von einzelnen menschlichen Tätigkeiten (zunächst beschränkt auf Aufforstung, Wiederaufforstung und Entwaldung seit 1990) verbunden sind.

7.1 Risiken und Probleme der Anrechnung von biologischen Senken

7.1.1 Risiko für langfristige Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen

Das Ziel des Klimaschutzes ist es, die Konzentration der Treibhausgase langfristig auf einem Niveau zu stabilisieren, welches eine für Mensch und Umwelt gefährliche Klimaveränderung verhindert (Art. 2 FCCC, siehe WBGU, 1998). Für die Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre ist letztlich die Netto-Emission der klimarelevanten Gase bestimmend, also die Summe aller Emissionen aus Quellen und der Flüsse in Senken. Allerdings muß für die langfristige Stabilisierung der Konzentration die zeitliche Dynamik von Quellen und Senken und auch der in der Atmosphäre stattfindenden Prozesse berücksichtigt werden. Eine Verrechnung der Senken mit den Quellen für Kohlendioxid ist nur dann gerechtfertigt, wenn die Lebensdauer der Senken etwa der Lebensdauer von Kohlendioxid in der At-

mosphäre entspricht. Dies kann aber, wie die vorliegende Studie zeigt, nicht garantiert werden.

Zusätzlich ist folgendes zu berücksichtigen: Werden biologische Senken mit energiebedingten Emissionen verrechnet, so werden Maßnahmen zur Reduktion der Verbrennung fossiler Brennstoffe, die damit langfristig (über geologische Zeiträume hinweg) dem Kohlendioxidkreislauf entzogen bleiben, gleichgesetzt mit der Schaffung von Senken, deren Lebensdauer im allgemeinen kaum über mehrere Jahrhunderte hinweg gewährleistet werden kann. Erlaubt man eine höhere Emission aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe, so riskiert man, daß der in den Senken gespeicherte Kohlenstoff nach wenigen Jahrzehnten oder Jahrhunderten wieder freigesetzt wird. Nun könnte man einwenden, daß in jedem Fall der gesamte heute oder in Zukunft bekannte Vorrat an fossilen Brennstoffen früher oder später verbrannt wird. Allerdings zeigen die Klimamodelle und die Berechnungen des Kohlenstoffkreislaufs, daß nicht die Endlichkeit der Ressourcen, sondern die notwendige Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen auf einem ungefährlichen Niveau die Verbrennung fossiler Brennstoffe begrenzt.

7.1.2 Zeitliche Dynamik der Vorräte und Flüsse

Die Verrechnung von terrestrischen Quellen und Senken in Form von Bestandsänderungen in einem 5jährigen Verpflichtungszeitraum berücksichtigt nicht die unterschiedliche zeitliche Dynamik von Kohlenstoffvorräten und -flüssen. Erst eine Integration über lange Zeiträume erlaubt eine Abschätzung der mittleren Senken- oder Quellenpotentiale der Ökosysteme.

Das Wachstum von Wäldern ist in jungen Jahren sehr hoch, erreicht dann aber je nach Klima und Bewirtschaftung schon früh, im Mittel nach etwa 20–50 Jahren, ein Maximum und wird danach wieder geringer. Die Kohlenstoffvorräte der oberirdischen Biomasse hingegen nehmen vergleichsweise langsam zu und nähern sich erst im hohen Alter (über 200 Jahre) allmählich einem Maximum (Abb. 11a, 12). In der organischen Auflage oder im Boden kann (keine Störungen vorausgesetzt) weiterhin stetig Kohlenstoff angesammelt werden. Dieses erklärt, warum in forstlichen Jungbeständen hohe Kohlenstoffaufnahme mit geringen Kohlenstoffvorräten einhergehen, im hohen Alter aber die jährlichen Zuwächse gering, die Vorräte der Bestände groß sind und der C-Pool des Ökosystems weiterhin steigt. Der Gesamtkohlenstoffpool bewirtschafteter Wälder ist wegen der periodischen Störungen durch Ernte niedriger als in Primärwäldern (Abb. 11b, c, d). Dabei ist der

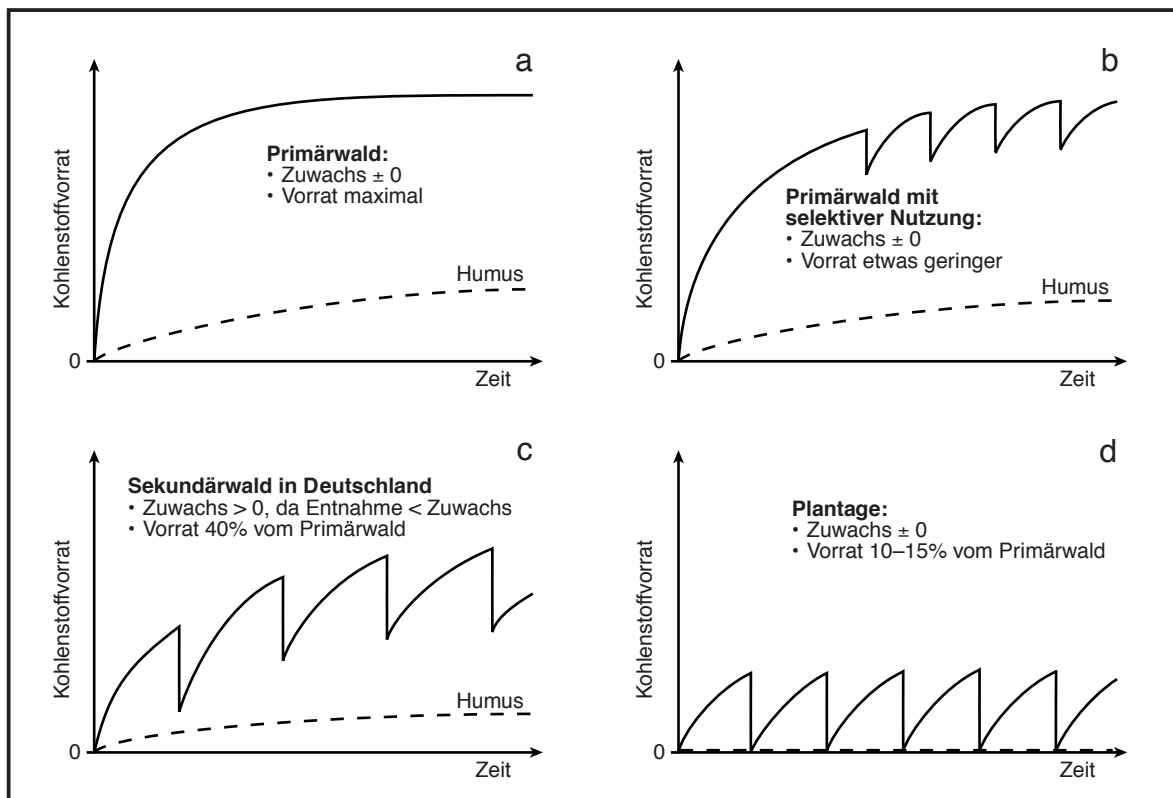


Abbildung 11

Schematische Darstellung der Kohlenstoffvorräte in der oberirdischen Biomasse und im Humus von Primärwäldern, Sekundärwäldern und Plantagen. Zu beachten ist, daß die Zeitskalen unterschiedlich sind (siehe Text) und die Kurven keine realen Wachstumskurven darstellen.

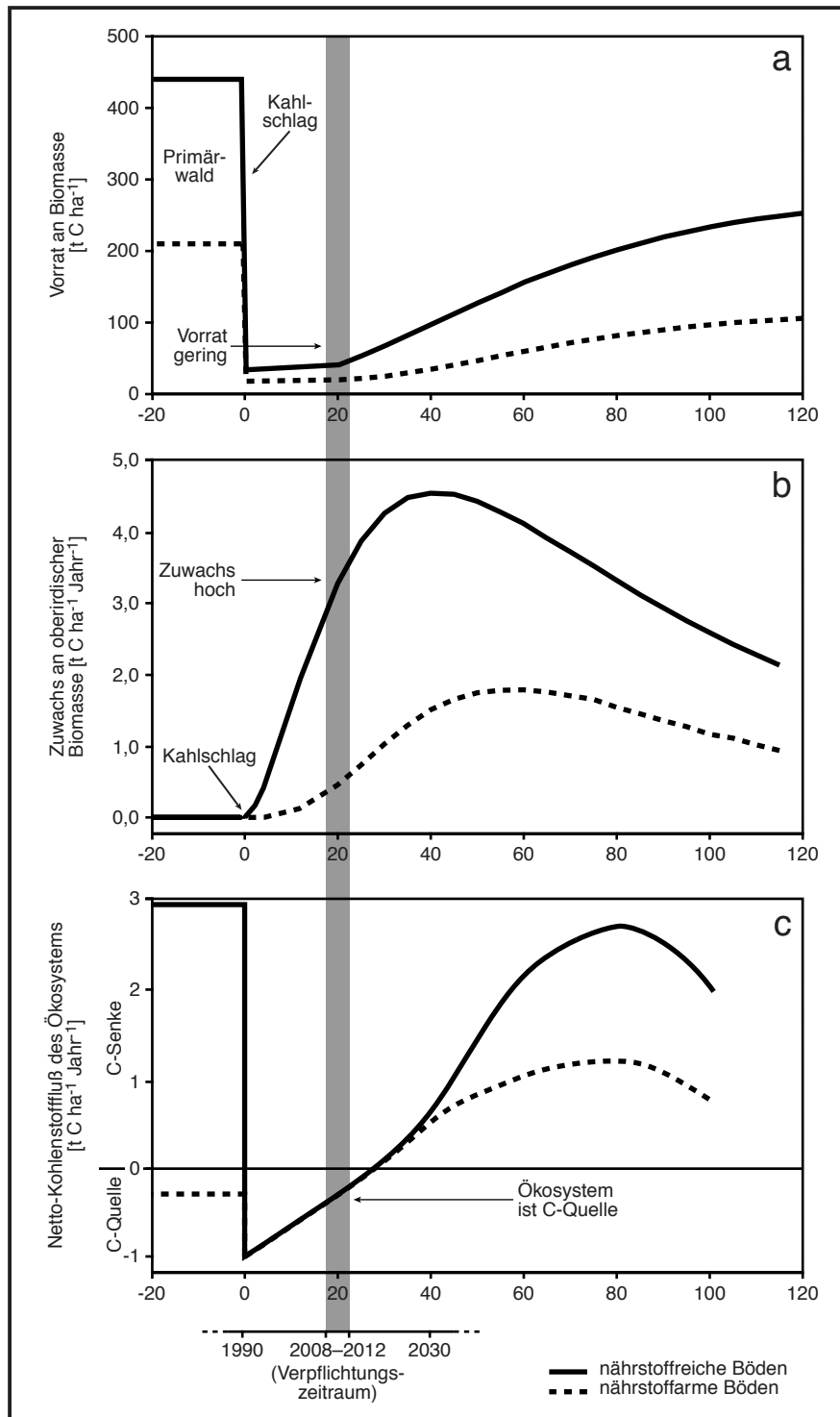
Quelle: WBGU

Einfluß des Menschen relativ gering im Plenterwald (Abb. 11b). Die Kohlenstoffvorräte sinken in der Regel mit zunehmender Bewirtschaftung und Verkürzung der Umtriebszeit der Bestände.

Welche Bedeutung diese zeitliche Dynamik für die Anrechnung von Senken und Quellen nach dem Kyoto-Protokoll haben kann, wird an folgendem Beispiel deutlich (Abb. 12):

Erfolgt eine *Entwaldung* zwischen 1990 und 2007, ist in den IPCC-Richtlinien eine lineare Abschreibung der Kohlenstoffemissionen über 10 Jahre hinsichtlich der Biomasse und über 20 Jahre hinsichtlich des Bodenkohlenstoffs vorgesehen. Der Großteil der Kohlenstoffemissionen erfolgt jedoch, je nach Rodungsverfahren und Nutzung des eingeschlagenen Holzes, bereits unmittelbar (bei Brandrodung) oder wenige Jahre nach der Entwaldung und wird somit im Verpflichtungszeitraum nicht angerechnet (Abb. 12c). Es besteht deshalb ein Anreiz, wenn gerodet werden soll, dies noch vor 2008 zu tun, um eine volle Anrechnung der Kohlenstoffemissionen zu vermeiden.

Eine für den Klima-, Boden- und Biodiversitätsschutz sehr nachteilige Situation würde sich ergeben, wenn auch *Wiederaufforstungen* von Flächen angerechnet werden könnten, die erst nach 1990 gerodet worden sind. Es wäre für ein Land lukrativ, alte, reife Wälder (Primärwälder) zu roden, den Holzertrag abzuschöpfen und möglichst bald die Fläche wieder aufzuforsten, um sich dies als Senke im Verpflichtungszeitraum anrechnen zu lassen. Die verrechenbaren Senkenpotentiale wären wegen des hohen Wachstums des Jungbestandes relativ hoch (Abb. 12b), obwohl die Kohlenstoffvorräte im Vergleich zum Primärwald sehr gering sind (Abb. 12a) und die gerodete Fläche aufgrund des erhöhten Abbaus der organischen Auflage und der Ernterückstände eine Netto-Kohlenstoffquelle (Abb. 12c) darstellen kann (eine lineare Abschreibung wie bei der Entwaldung ist in den IPCC-Richtlinien hier nicht explizit vorgesehen). Abb. 12 verdeutlicht ebenfalls die Berücksichtigung des Bodenkohlenstoffs im Verpflichtungszeitraum. Wird nur die oberirdische Biomasse des aufwachsenden Bestandes berücksichtigt, ist der Jungbestand eine C-Senke mit hoher Nettoprimär-

**Abbildung 12**

Kahlschlag und Wiederaufforstung – Wirkung auf Kohlenstoffvorräte und -flüsse in schematischer Darstellung. Gezeigt ist die Entwicklung der Kohlenstoffvorräte und -flüsse von Nadelwäldern in gemäßigten Klimazonen nach Kahlschlag und Wiederaufforstung. Die verschiedenen Szenarien einer Anrechnung der Wiederaufforstung gemäß Kyoto-Protokoll (der Verpflichtungszeitraum ist grau unterlegt) und ihre Auswirkungen auf den Klimaschutz werden im Text erläutert. Die beiden Kurven sollen die Bandbreite möglicher Entwicklungen in Abhängigkeit von der Bodenqualität verdeutlichen. (a) Entwicklung der Kohlenstoffvorräte in der oberirdischen Biomasse und der organischen Auflage des Bodens. (b) Kohlenstoffaufnahme durch das Wachstum der Bäume. (c) Generalisierter Trend der Netto-Kohlenstoffflüsse des Ökosystems. Quelle: WBGU

produktion. Die Bilanz sieht allerdings anders aus, wenn die Bodenatmung mitberücksichtigt wird. Die Störung des Bodens durch die Ernte führt dazu, daß das Gesamtökosystem zu einer C-Quelle wird. Vermutlich erst nach 20–30 Jahren wird das Ökosystem zu einer Senke. Somit kann auf der Ebene des Öko-

systems der „Kyoto-Forest“ im Verpflichtungszeitraum sogar eine Kohlenstoffquelle sein. Nur die Ökosystembetrachtung unter Einschluß des Bodens kann deshalb die wissenschaftliche Grundlage für adäquate Klimaschutzmaßnahmen sein.

Die Kohlenstoffverluste durch die Ernte des Primärwalds müssen im Sinne des Klimaschutzes berücksichtigt werden. Insbesondere muß bei der Ausgestaltung des clean development mechanism und der Gemeinsamen Umsetzung sichergestellt werden, daß folgendes Mißbrauchsszenario nicht eintreten kann: Die Kohlenstoffverluste durch Abholzen eines Primärwalds werden nicht angerechnet, unabhängig davon, ob das Holz an Ort und Stelle verbrannt wird, in die Papierherstellung geht oder zu langlebigen Produkten verarbeitet wird. Ein Staat könnte so doppelt gewinnen: Einmal durch die wirtschaftliche Nutzung des Primärwaldes und zum anderen dadurch, daß er sich die Wiederaufforstung als Kohlenstoffsénke anrechnen lassen kann. Die Kohlenstoffemissionen aus der Rodung bzw. Ernte würden keinem Staat negativ angerechnet. Der Klima-, Boden- und Biodiversitätsschutz würde ins Gegenteil verkehrt, wenn in den Tropen zwischen Rodung und Wiederaufforstung eine wenige Jahre andauernde, sehr intensive Nutzung der Fläche erfolgen würde. Dann würden möglicherweise Primärwälder gezielt für eine kurze, intensive Nutzung und spätere Anrechnung der Wiederaufforstung gerodet, der Boden würde durch die Intensivkulturen (z. B. Reiskulturen) innerhalb weniger Jahre degradieren, und anschließend könnte die Wiederaufforstung der zerstörten Flächen über den clean development mechanism finanziert werden.

Folgen zukünftige Verpflichtungszeiträume nicht unmittelbar aufeinander, wird sich zwischen den Verpflichtungszeiträumen immer wieder die Möglichkeit ergeben, ohne eine entsprechende Anrechnung Aktivitäten durchzuführen, die zu hohen Kohlenstoffemissionen führen.

7.1.3

Große Unsicherheiten in der Abschätzung

Die Datengrundlage zur Kohlenstoffbilanz terrestrischer Ökosysteme wurde in der BMBF-Studie von Heimann et al. (1997, Kapitel 6.1–6.4) ausführlich dargelegt und bewertet, mit dem Ergebnis, daß für viele Vegetationstypen die Datenbasis für globale Extrapolationen sehr lückenhaft ist. Auch die vorliegende Studie zeigt große Unzulänglichkeiten für eine vergleichende Auswertung von Datensätzen.

- Vollständige Kohlenstoffinventuren existieren nur für wenige Länder, Ökosysteme oder Nutzungsformen. Für Deutschland fehlt die Inventur. Tropische und subtropische Gebiete, wirtschaftlich nicht genutzte Ökosysteme (z. B. Moore, Auenwälder, natürliche Grasländer) sowie Wirtschaftsgrasländer sind im Gegensatz zu ihrer Bedeutung für den Kohlenstoffkreislauf hinsichtlich

der verfügbaren Daten stark unterrepräsentiert. Die Bewertung verschiedener Nutzungsformen und -intensitäten leidet an der Unvollständigkeit der Datensätze.

- Die Kohlenstoffvorräte der organischen Bodenaufgabe, der unterirdischen Biomasse (Wurzeln) sowie der Begleitvegetation wurden in den meisten Publikationen über Kohlenstoffflüsse nicht berücksichtigt. Laut IPCC-Richtlinien müssen bei einer Umwandlung von Wald in Acker- oder Weideland nur die obersten 30 cm des Mineralbodens berücksichtigt werden. Dies ist für die meisten Vegetationstypen nicht ausreichend, z. B. im Fall von Erosion oder tiefer reichender Wurzeln.
- Häufig werden nur Kohlenstoffkonzentrationen, nicht aber die Kohlenstoffmengen pro Fläche angegeben. Dabei werden Änderungen in der Lagerungsdichte oft nicht berücksichtigt. Nur eine vollständige Aufnahme (Lagerungsdichte und Horizonttiefen des Ausgangs- und Endzustands) kann Änderungen der Bodenkohlenstoffvorräte verlässlich abschätzen. Über den Kohlenstoffvorrat tieferer Bodenhorizonte (>100 cm) liegen nur wenige Daten vor, obgleich die Wurzeln der Pflanzen wesentlich tiefer reichen können (durchschnittlich mehr als 4 m; Jackson et al., 1996). Darüber hinaus fehlt für die Bodenkohlenstoffvorräte eine Trennung der Bodenkohlenstofffraktionen (einschließlich des gelösten organischen Kohlenstoffs) nach ihren unterschiedlichen Abbauraten. Die Stabilität der verschiedenen Humusfraktionen reicht von wenigen Monaten und Jahren (z. B. Blätter und Nadeln der Streu) bis zu mehreren 1.000 Jahren (stabile Huminsäuren im Mineralboden oder in Moorböden).
- Systematische Erhebungen zum Kohlenstoffhaushalt von Ökosystemen in Abhängigkeit ihrer Nutzungsintensität und -form stehen bislang nicht zur Verfügung.
- Viele Studien wurden unter anderen Fragestellungen und Zielsetzungen als die einer vollständigen Kohlenstoffbilanz erstellt (Paulsen, 1995). Damit fehlen häufig Informationen über Bestandsalter, Wachstum und Struktur, Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit. Hier zeigt sich deutlich der Bedarf an einer unmittelbar auf den Kohlenstoffhaushalt ausgerichteten Forschung.
- Selbst die Flächenangaben zu den verschiedenen Vegetationstypen und Landnutzungsformen schwanken erheblich, und die flächenbezogene Auflösung der Landnutzungsformen ist meistens unzureichend. Ebenso fehlen Flächenangaben zu unterschiedlichen Bewirtschaftungsintensitäten (z. B. Naturwald versus extensiver Wirtschaftswald versus Plantagenbewirtschaftung).
- Für die Quantifizierung der terrestrischen Koh-

lenstoffquellen und Senken reicht die Bestimmung der oberirdischen Biomasse und deren Veränderung nicht aus. Die Bilanz aus Kohlenstoffassimilation und Atmung kann bislang über drei Methoden erfolgen:

1. über langfristige periodische Inventuren auf statistischer Grundlage, die sowohl den Kohlenstoff der ober- und unterirdischen Biomasse als auch den Kohlenstoff der organischen Auflage, der Moorböden und des Mineralbodens beinhalten,
2. über mikrometeorologische Messungen von Einzelbeständen (Eddy-Kovarianz-Methode integrierend über km²),
3. über die Bilanzierung der turbulenten Grenzschicht der Atmosphäre (CBL-Integration über 50x50 km²).

Vollständige Inventuren sind sehr aufwendig und langwierig. Die meteorologischen Methoden haben den Nachteil, daß sie plötzliche Ereignisse, die Kohlenstoff aus dem Ökosystem entfernen (Ernte oder Feuer), nicht erfassen können. Darüber hinaus werden bei den mikrometeorologischen Methoden eventuell auch anthropogene Quellen erfaßt. Für die Zukunft verspricht nur eine Kombination und gegenseitige Verifizierung der vorgestellten Methoden eine realistische Abschätzung terrestrischer Kohlenstoffsenken und -quellen.

Diese großen Unsicherheiten führen grundsätzlich bei einer Netto-Verrechnung mit den (relativ gut abschätzbaren) energiebedingten Emissionen zu einer deutlichen Verringerung der Transparenz der Verpflichtungen. Damit erschwert sich die Verifizierbarkeit und Umsetzbarkeit der rechtlich verbindlichen Verpflichtungen.

7.2

Problematische Anrechnung im Kyoto-Protokoll

Oben wurden grundsätzliche Argumente gegen eine Verrechnung von terrestrischen Senken mit energie- und industriebedingten Quellen von Treibhausgasen aufgeführt. Sie zeigen, daß jeder Versuch einer Einbeziehung des Senkenschutzes über eine Verrechnung von Brutto-Emissionen mit der Aufnahme durch Senken (Netto-Ansatz) problematisch ist. Im folgenden sollen die konkreten Anrechnungsregelungen des Kyoto-Protokolls, zusammen mit den IPCC-Richtlinien zur Abschätzung der Quellen- und Senkenwirkung, auf die das Kyoto-Protokoll Bezug nimmt, vor dem Hintergrund des in Kap. 4–6 dargestellten Wissensstands bewertet werden.

7.2.1

Berechnungsverfahren

Ein Schwachpunkt des im Kyoto-Protokoll realisierten Netto-Ansatzes ist die Vernachlässigung der Quellen und Senken aus der Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft in der Definition der Bezugsmenge (1990), die der Berechnung der erlaubten Emissionen zugrunde liegt. Da die Anrechnung derzeit auf die in Art. 3 Abs. 3 genannten, seit 1990 erfolgten Tätigkeiten der Aufforstung, Wiederaufforstung und Entwaldung begrenzt ist, ist die durch dieses Verfahren bedingte Vergrößerung der erlaubten Emissionsmenge deutlich geringer als bei vollständiger Anrechnung der Senken im Bereich Landnutzungsänderung und Forst (wie ursprünglich von einigen Vertragsstaaten vorgeschlagen). Allerdings vergrößert sich die erlaubte Emissionsmenge umso mehr, je mehr Tätigkeiten nach Art. 3 Abs. 4 im Verpflichtungszeitraum angerechnet werden. Zusätzlich vergrößert sich die erlaubte Emissionsmenge für solche Staaten, für die die Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft insgesamt 1990 eine Quelle darstellte, da die Netto-Emission aus der Landnutzungsänderung wegen der in Art. 3 Abs. 7 eingeführten Sonderregelung zur Basismenge hinzuaddiert wird. Dies vergrößert die Bezugsmenge für Australien um etwa 30%.

7.2.2

Lücke vor Verpflichtungszeitraum

Im Zeitraum zwischen 1990 und dem Beginn des ersten Verpflichtungszeitraums 2008 werden keine Emissionen und keine Aufnahme durch Senken berücksichtigt, weil nur die Bestandsänderungen zwischen 2008-2012 angerechnet werden. Wegen der nichtlinearen zeitlichen Dynamik biologischer Quellen und Senken (siehe Kap. 7.1.2) ergibt sich daraus ein Anreiz zur Abholzung von Wäldern zwischen 1990 und 2008.

Aus diesen Gründen muß unbedingt daran festgehalten werden, daß die Verpflichtungszeiträume unmittelbar aufeinander folgen. Damit würden langfristig die Anrechnungsschwierigkeiten der Anfangsphase gegenstandslos werden.

7.2.3

Problematische Anrechnung von Projekten in Entwicklungsländern

Möglicherweise können sich Industriestaaten die Finanzierung von Aufforstungsprojekten in Entwick-

lungsländern über den clean development mechanism (Art. 12) anrechnen lassen. Darin sieht der Beirat eine Gefahr, da dies im Sinne einer Abholzung von Primär- und Sekundärwäldern mißbraucht werden könnte, was Sinn und Zweck der Klimakonvention in grober Weise widersprechen würde. Deshalb muß sichergestellt werden, daß solche Abholzungen Industrieländern als Emissionen angerechnet werden, solange die Entwicklungsländer noch keine Verpflichtungen erfüllen müssen. Eine Aufforstung auf den so entstandenen degradierten Flächen hingegen kann von Industrieländern finanziert werden und dann auf die Minderung der Emissionen der Industrieländer angerechnet werden.

Dieser Anreiz zur Abholzung muß in jedem Fall verhindert werden. Vorschläge dazu gibt der Beirat in Kap. 8.

Eine Anrechnung von Waldschutzprojekten kann ohne eine vollständige Kohlenstoffbilanz für das Entwicklungsland zu einer bloßen räumlichen Verlagerung von Emissionen führen, wenn Entwaldungen an anderer Stelle des Landes nicht berücksichtigt werden. Auch ist fraglich, ob die langfristige Sicherung des Waldschutzes garantiert werden kann, nachdem ein Projekt bereits zu einer Anrechnung und somit zu einer Verminderung der Reduktionsverpflichtung in einem Industrieland geführt hat.

7.3

Auswahl und Definition der anzurechnenden Tätigkeiten

Durch die Begrenzung der direkt auf die Verpflichtungen der Industrieländer anzurechnenden Senken auf seit 1990 erfolgte Aufforstung, Wiederaufforstung und Entwaldung ist versucht worden, einige der Probleme, die oben geschildert wurden, zu verhindern. Auch läßt sich die Änderung zumindest in der oberirdischen Biomasse, die mit den genannten forstwirtschaftlichen Tätigkeiten verbunden ist, leichter nachprüfen als etwa die mit anderen forstwirtschaftlichen Maßnahmen (Forstmanagement) verbundene. Allerdings zeigt eine genaue Analyse der vereinbarten Anrechnung, wie sie sich aus den Regelungen des Kyoto-Protokolls ergibt, daß sie wegen unklarer Definitionen der anzurechnenden Tätigkeiten sowie wegen der zeitlichen Struktur ihrer Auswirkungen auf die Netto-Emissionen zu einer Reihe von gravierenden Problemen führt.

7.3.1

Unklare Definitionen

Die in Art. 3 Abs. 3 explizit genannten Tätigkeiten, auf die sich bislang die Anrechnung von Senken beschränkt, werden im Kyoto-Protokoll nicht näher definiert. Die Definitionen der IPCC-Richtlinien sind unzureichend. So wird nicht deutlich, wie Wiederaufforstung von forstwirtschaftlichen Managementpraktiken abgegrenzt werden kann, bei denen Wälder abgeholzt und sofort oder später wieder nachgepflanzt werden. Ohne eine solche Definition ist eine eindeutige Abschätzung der Auswirkungen von Art. 3 Abs. 3, insbesondere der dadurch geschaffenen unerwünschten Anreize, nicht möglich. Auch werden möglicherweise durch eine ungenaue oder unangemessene Definition der Begriffe wichtige Prozesse oder Ökosysteme vernachlässigt (siehe unten). Beispielsweise ist unklar, ob die Umwandlung von Primärwäldern in Sekundärwälder bzw. bewirtschaftete Wälder oder die schleichende Degradation der Wälder, die zu erheblichen Emissionen führen können, mit den drei genannten Tätigkeiten erfaßt wird. Auch die technische Machbarkeit der Verifizierung ist ungeklärt. Die IPCC-Richtlinien erlauben gleichberechtigt eine Reihe unterschiedlicher Methoden, obgleich diese unterschiedliche Ergebnisse liefern. Schließlich ist unklar, wie der Einfluß direkter menschlicher Tätigkeiten von natürlichen Faktoren getrennt werden soll.

7.3.2

Mögliche negative Anreize

Geht man von der Anwendung der derzeit gültigen IPCC-Richtlinien (IPCC, 1997) aus, ergeben sich aus der Anrechnung von Aufforstung, Wiederaufforstung und Entwaldung nach Art. 3 Abs. 3 eine Reihe negativer Anreize. Die Anreize für Entwicklungsländer wurden bereits oben angesprochen.

Die Umwandlung von Primär- in Sekundärwälder könnte bei fehlender Anrechnung indirekt gefördert werden, indem die Abholzung der Primärwälder nicht berücksichtigt wird, wohl aber die Speicherung von Kohlenstoff in Sekundärwäldern oder Plantagen.

Grundsätzlich besteht ein Anreiz zur Schaffung schnellwachsender Plantagen. Aspekte der Nachhaltigkeit und Auswirkungen beispielsweise auf das Schutzgut Biodiversität drohen vernachlässigt zu werden. Insbesondere würde die Nichtberücksichtigung des Zeitraums bis 2008 einen Anreiz zu einer auf den Verpflichtungszeitraum hin optimierten Aufforstung (Abholzung vor dem Verpflichtungszeit-

raum, darauf folgende Wiederaufforstung mit schnellem Wachstum im Verpflichtungszeitraum) schaffen (Abb. 12).

7.3.3

Vernachlässigung wichtiger Quellen und Senken

Geht man von den derzeit gültigen IPCC-Richtlinien aus, so wird die Umwandlung von Primär- in Sekundärwälder nicht oder nicht in ausreichendem Maße berücksichtigt, obwohl sie eine der bedeutendsten Quellen für Emissionen aus terrestrischen Ökosystemen darstellt (neben Entwaldung und Degradation von Wäldern). Die Degradation von Wäldern wird im Gegensatz zur Entwaldung nicht berücksichtigt, obwohl sie zu Emissionen in der gleichen Größenordnung führt.

Der Schutz von wichtigen und stabilen natürlichen Speichern, wie vor allem Primärwäldern und Feuchtgebieten, wird durch keine Anreize positiv gefördert.

7.3.4

Gemeinsame Umsetzung (Artikel 6) und Handel mit Emissionszertifikaten (Artikel 17)

Unklar ist, mit welchen Projekten zur Stärkung von Senken sich Industriestaaten Emissionsreduktionseinheiten in anderen Industriestaaten anrechnen lassen können. Art. 6 begrenzt diese nicht auf die in Art. 3 Abs. 3 genannten Tätigkeiten. Dies könnte bedeuten, daß über die gemeinsame Umsetzung von Projekten zwischen zwei Industriestaaten eine wechselseitige Anrechnung von Senken möglich wäre, die über Art. 3 Abs. 3 im jeweils eigenen Land ausgeschlossen ist. Dadurch könnten die Risiken und Unwägbarkeiten, die mit der Anrechnung biologischer Quellen und Senken verbunden sind, deutlich erhöht werden.

Allerdings schränkt Art. 6 die Anrechnung dahingehend ein, daß die Projekte zu einer verstärkten Aufnahme von Treibhausgasen durch Senken führen müssen, die über die ohnehin erzielte hinaus geht („that is additional to any that would otherwise occur“, Art. 6 Abs. 1 (b)).

Auch die Auswirkungen eines Handels mit Emissionszertifikaten, der im Grundsatz in Art. 17 eingeführt wird, sind noch nicht abschätzbar, da die Modalitäten, Regeln und Richtlinien für die Umsetzung eines solchen Handels noch beschlossen werden müssen.

8 Empfehlungen

Wie in Kap. 7 erläutert, ist die Art, wie im Kyoto-Protokoll die Anrechnung von Senken geregelt wird, keineswegs geeignet, die Ziele des Klimaschutzes und des Schutzes der Biodiversität effektiv zu vereinen. So wird die Transparenz der Reduktionsverpflichtungen deutlich vermindert, weil eine Verifizierung kaum möglich ist. Auch birgt der Ansatz erhebliche Risiken im Hinblick auf das langfristige Ziel der Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen. Schließlich werden Anreize für Maßnahmen im Bereich von Land- und Forstwirtschaft geschaffen, die dem Schutz der Biodiversität und dem Schutz der Ökosystemfunktionen zuwiderlaufen. Darin sieht der Beirat eine große Gefahr und einen der größten Schwachpunkte des Kyoto-Protokolls. Die Anrechnung von Senken berücksichtigt nicht in angemessener Weise die Ziele anderer Konventionen wie „Schutz der Biodiversität“ und „Bekämpfung der Wüstendegradation“.

Wünschenswert wäre deshalb die Streichung oder Umformulierung von Art. 3 Abs. 3 und 4 und damit die Neueröffnung der Verhandlungen über die Einbeziehung der Senken. Dies ist aber politisch keine realistische Option und birgt die Gefahr, daß ein Teil der Länder sich wieder von dem Protokoll zurückzieht. Deshalb ist auf eine Auslegung und Anwendung des Art. 3 des Kyoto-Protokolls nach Treu und Glauben hinzuwirken, die dem Vertragszweck Klimaschutz gerecht wird. Maßnahmen, die langfristig dem Klimaschutz widersprechen, sollen nicht auf die Reduktionsverpflichtungen angerechnet werden, selbst soweit sie formal unter Art. 3 Abs. 3 fallen sollten. Auch sollten keine Entscheidungen zur Anrechnung von Senken und zur Definition der Begriffe in den relevanten Regelungen des Kyoto-Protokolls getroffen werden, bevor mit dem Sonderbericht des IPCC (siehe UNFCCC, 1998) eine gründliche wissenschaftliche Untersuchung aller methodischen, ökologischen und sozio-ökonomischen Auswirkungen der Anrechnung biologischer Quellen und Senken vorliegt.

Wie in Kap. 3 erläutert, bieten das Kyoto-Protokoll und damit verbundene weitere Regelungen einen gewissen Spielraum in der Auslegung, Konkret-

tisierung und Fortentwicklung des Regelwerks. Daher empfiehlt der Beirat, diese Spielräume dazu zu nutzen, eine drohende Unterminierung des Klimaschutzes und die gleichzeitig drohende Beeinträchtigung terrestrischer Ökosysteme abzuwehren und zu minimieren, aber gleichzeitig vorhandene Chancen für den Senkenschutz abzusichern und auszubauen. Dabei ist auch zu berücksichtigen, daß die Reduktionsziele möglichst wenig durch die Art der Verrechnung verwässert werden.

Es sollten möglichst wenige Senken zur Anrechnung zugelassen werden, da jede angerechnete Senke die Verifizierbarkeit der Reduktionsverpflichtungen beträchtlich erschwert. Insbesondere ist zu verhindern, daß über Art. 3 Abs. 4 des Kyoto-Protokolls in der Zeit bis 2012 zusätzliche menschliche Tätigkeiten im Bereich Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft, die mit der Schaffung von Senken verbunden sind, angerechnet werden.

Allenfalls die Berücksichtigung einer Tätigkeit, die eine relevante Quelle für Treibhausgase darstellt (etwa die Zerstörung natürlicher Speicher), sollte erwogen werden. Dieses unterschiedliche Vorgehen für Quellen einerseits und Senken andererseits ist deshalb gerechtfertigt, weil die Anrechnung von Senken mit Risiken hinsichtlich des Klimaschutzes verbunden ist, nicht jedoch die Anrechnung von Quellen.

Im folgenden werden Möglichkeiten aufgezeigt, ohne eine Änderung des Kyoto-Protokolls potentielle Schäden zu begrenzen und Chancen für den Senkenschutz wahrzunehmen.

Die Auslegung von Art. 3 Abs. 3 gibt in Verbindung mit Art. 5 (über die Verwendung und Anpassung der IPCC-Richtlinien zur Aufstellung von Treibhausgasinventuren) und mit Art. 7 (über die zu entscheidenden Modalitäten zur Anrechnung von zugerechneten Mengen) einen gewissen Spielraum zur Definition der anzurechnenden Tätigkeiten und Mengen. Auch bedarf die Regelung des clean development mechanism in Art. 12 noch dringender Klärung. Die gefährlichen Anreize zur Entwaldung in Entwicklungsländern, die durch die (bereits im Jahr 2000 mögliche) Anrechnung von Projekten in Entwicklungsländern auf die Verpflichtungen der In-

dustrielländer entstehen könnten, sind unbedingt zu verhindern. Dazu gibt die Entscheidung der dritten Vertragsstaatenkonferenz explizit einen Auftrag an die Unterorgane der FCCC, die Auswirkungen dieser frühen Anrechnungen zu prüfen.

8.1 IPCC-Sonderbericht über biologische Quellen und Senken

Der Beirat unterstützt die Entscheidung des SBSTA (UNFCCC, 1998), den IPCC mit der Erstellung eines Sonderberichtes über Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft zu beauftragen.

Der Sonderbericht sollte die Rolle der terrestrischen Biosphäre im Kohlenstoffkreislauf möglichst umfassend untersuchen, insbesondere die direkten und indirekten Auswirkungen der menschlichen Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft auf die Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre, aber auch auf die Hydrosphäre, die organische Substanz der Böden, die Biodiversität und soziale und wirtschaftliche Bedingungen. Insbesondere ist zu klären, inwieweit das Ziel „einer Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen auf einem ungefährlichen Niveau“ durch eine Anrechnung biologischer Quellen und Senken beeinträchtigt werden könnte. Dabei sind beispielsweise Fragen nach der Konstanz biologischer Senken unter dem Einfluß von Klimaänderungen zu klären.

Für Kohlenstoffspeicher und -flüsse in der terrestrische Biosphäre sind andere Zeitskalen relevant als die fünfjährigen Verpflichtungszeiträume im Kyoto-Protokoll. In diesem Zusammenhang ist zu fragen, inwieweit bestehende Meßmethoden ohne Integration über längere Zeiträume zu fehlerhaften Abschätzungen führen.

Die konkret im Zusammenhang mit Art. 3 Abs. 3 und Abs. 4 aufgeworfenen Fragen zur Definition von Begriffen und Methoden wurden bereits in Kap. 3 erläutert. Der IPCC-Sonderbericht sollte diese Fragen aufgreifen und die Auswirkungen verschiedener Definitionen und Anrechnungsmodalitäten untersuchen. Diese Untersuchungen sollten auch in die Verbesserung der IPCC-Richtlinien einfließen (siehe Kap. 8.2.1). Insbesondere sollte untersucht werden, wie sich die Vernachlässigung wichtiger Kohlenstoffvorräte (etwa in den Böden) auf den Klimaschutz und auf den Schutz der Biodiversität, der Böden und der Gewässer auswirken könnte. Können vollständige Kohlenstoffbilanzen erstellt werden? Welche Methoden zur Verifizierung sind verfügbar? Wie groß sind die mit ihnen verbundenen Unsicherheiten? Über welche Zeiträume müssen die Meßdaten inte-

griert werden, um zu verlässlichen Ergebnissen zu kommen?

Ohne eine gründliche Untersuchung all dieser Fragen sind die Auswirkungen der Anrechnung biologischer Quellen und Senken auf die Kohlenstoffspeicher und -flüsse sowie Sekundäreffekte für Wasser, Böden und Biodiversität nicht konkret abschätzbar. Deshalb sollten keineswegs voreilig Entscheidungen etwa zur weiteren Anrechnung von Senken nach Art. 3 Abs. 4 oder auch nach Art. 12 (Projekte in Entwicklungsländern) getroffen werden.

8.2 Anrechnung von Aufforstung, Wiederauffor- stung und Entwaldung in Industrieländern

Die wesentlichen Probleme in der bestehenden Regelung von Art. 3 Abs. 3, in Verbindung mit den aktuell gültigen IPCC-Richtlinien, wurden in Kap. 7.2 erläutert. Folgender Handlungsbedarf ergibt sich daraus:

Zunächst sollte darauf hingewirkt werden, daß eine Anrechnung erst dann möglich ist, wenn zufriedenstellende Richtlinien und Methoden für einen transparenten und verifizierbaren Vergleich der Vertragserfüllung durch alle Industriestaaten beschlossen werden. Diese Regelungen sind darauf abzustellen, daß in Zukunft auch die Entwicklungsländer Pflichten zur Begrenzung oder Minderung ihrer Emissionen übernehmen werden.

Der Beirat empfiehlt deshalb, den IPCC zu beauftragen, alle Fragen der Unsicherheit in der Erfassung und Verifizierbarkeit von Senkenschutzmaßnahmen einschließlich der Sekundäreffekte (etwa auf die Biodiversität und die Böden) und einschließlich der langfristigen Auswirkungen auf die Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen zu prüfen und in einem Sonderbericht zu veröffentlichen.

Der Beirat betont auch die Wichtigkeit einer Überarbeitung der IPCC-Richtlinien. Die Bundesregierung sollte dieses bei der Besetzung der Gremien, die sich mit den Richtlinien beschäftigen, berücksichtigen. So sollte das gesamte Spektrum der Naturwissenschaften vertreten sein, nicht nur die Forstwissenschaft. Einige Vorschläge zur Überarbeitung der Richtlinien werden im folgenden gemacht.

8.2.1 Vorschläge zu den IPCC-Richtlinien

Die IPCC-Richtlinien (IPCC, 1997) sind dringend zu erweitern, um sie für die Überprüfung rechtlich verbindlicher Verpflichtungen geeignet zu machen.

Dabei sind insbesondere folgende Aspekte zu beachten:

- Die angewendeten Methoden müssen zu vergleichbaren Bilanzen führen. Dies gelingt erst dann, wenn einheitliche Anforderungen an alle Staaten gestellt werden, die gleichzeitig die realen Kohlenstoffflüsse hinreichend realistisch berücksichtigen.
- Insbesondere müssen Kohlenstoffvorräte in der organischen Auflage und im Boden von Wäldern bei allen Maßnahmen berücksichtigt werden.
- Die Begriffe „Entwaldung“, „Aufforstung“ und „Wiederaufforstung“ sind klar zu definieren. Die Definition muß so erfolgen, daß keine Anreize zur Zerstörung von Speichern oder zur Schädigung der Biodiversität geschaffen werden. Auch sollte die Definition zu einer möglichst restriktiven Anrechnung von Senken führen, um die Probleme, die mit den Unsicherheiten und Unwägbarkeiten einer Verrechnung verbunden sind, zu mindern. Der Beirat schlägt dazu vor, unter Wiederaufforstung gemäß der Definition im Glossar der IPCC-Richtlinien Pflanzungen auf Flächen zu verstehen, die historisch (also in den letzten 50 Jahren, wie an einer anderen Stelle der Richtlinien präzisiert wird) bereits einen Wald trugen, aber zwischenzeitlich anders genutzt wurden. Damit würden Praktiken des Forstmanagements, die eine Abholzung zur Ernte und einen darauffolgenden Auffwuchs beinhalten, nicht angerechnet werden können.
- Die Umwandlung von Primär- in Sekundärwald muß dringend als Emission angerechnet werden, wobei alle Effekte (auch die Bodenprozesse) berücksichtigt werden müssen. Dies sollte über die geeignete Definition von Entwaldung und Wiederaufforstung erfolgen.
- Die Walddegradation muß ebenfalls ähnlich wie eine Entwaldung angerechnet werden. Sie sollte deshalb möglichst in die Definition der Entwaldung einbezogen werden.
- Um die Senken und Quellen annähernd vollständig zu erfassen, genügt es nicht, mikrometeorologische Methoden anzuwenden. Diese Methoden integrieren über größere Zeit- und Raumskalen und erlauben eine vergleichsweise rasche und genaue Bestimmung der tatsächlichen Kohlenstoffflüsse (NEP) zwischen einem Ökosystem und der Atmosphäre. Plötzliche Ereignisse wie Feuer oder Ernte, durch die dem Ökosystem Kohlenstoff entzogen wird, werden hingegen nicht erfaßt. Die mit Feuer einhergehende plötzliche Freisetzung von Kohlenstoff kann möglicherweise durch Messungen in der stabilen Grenzschicht der Atmosphäre (Convective Boundary Layer, CBL-Messungen) bestimmt werden. Hierzu sind aber weitere For-

schungen notwendig. Aufgrund der räumlichen Integration der Methoden werden in dicht besiedelten Gebieten wie Europa die Kohlenstoffflüsse der Ökosysteme von industriellen Kohlenstoffläsen überlagert, eine differenzierte Messung dieser Quellen bzw. Senken ist mit diesen Methoden nur bei gleichzeitiger Messung der stabilen Isotope möglich. Die mikrometeorologischen Methoden sind zu ergänzen durch ein Monitoring der naturräumlichen Gliederung unter der Berücksichtigung der verschiedenen Landnutzungstypen sowie durch Inventuren sowohl der ober- als auch der unterirdischen Biomasse. Die Inventuren müssen auch die organische Auflage und den Bodenkohlenstoff einbeziehen.

8.2.2

Modalitäten zur Anrechnung von Senken (Artikel 7 Absatz 4)

Geänderte IPCC-Richtlinien können nur auf die Pflichten für zukünftige Verpflichtungszeiträume angewendet werden, nicht jedoch im Zeitraum 2008–2012. Deshalb sind neben der dringend notwendigen Erweiterung und Ergänzung der IPCC-Richtlinien auch geeignete Richtlinien nach Art. 7 Abs. 4 für die Erstellung der Informationen zu beschließen, die nach Art. 7 Abs. 1 und 2 gewährleisten sollen, daß die Pflichten nach Art. 3 erfüllt werden.

- So kann der zu großen Teilen nicht vermeidbaren Unsicherheit in der Verifizierbarkeit der Senkenwirkung dadurch Rechnung getragen werden, daß Senken grundsätzlich nur zu einem gewissen maximalen Prozentsatz (z. B. 20%) der Brutto-Emissionen angerechnet werden können. Auch sollte die Anrechnung möglichst konservativ erfolgen.
- Um zu verhindern, daß ein Anreiz zur Entwaldung vor dem ersten Verpflichtungszeitraum geschaffen wird, sollten Wiederaufforstungen nur dann angerechnet werden, wenn sie auf Flächen erfolgen, die 1990 keinen Wald trugen.
- Die Anrechnung von Aufforstungsmaßnahmen sollte an eine Reihe von Bedingungen geknüpft werden, um ihre Nachhaltigkeit zu gewährleisten und unerwünschte Nebenwirkungen zu vermeiden. Insbesondere sollte so ein Anreiz zur Errichtung von schnellwachsenden Plantagen und empfindlichen Monokulturen (im Gegensatz zu nachhaltigen Mischwäldern) vermieden werden. Dazu schlägt der Beirat vor, bei Aufforstungen oder Wiederaufforstungen die mittlere Bestandsänderung – gemittelt über die Umtriebszeit – anzurechnen, nicht die real im Verpflichtungszeitraum gemessene.

8.2.3

Sollen weitere Tätigkeiten nach Artikel 3 Absatz 4 angerechnet werden?

Jede Anrechnung zusätzlicher Tätigkeiten, die eine Senke im Bereich Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft darstellt, führt zu einer Vergrößerung der erlaubten Emissionen aus fossilen Energieträgern. Auch sind die Unsicherheiten bei allen zusätzlichen Tätigkeiten weitaus größer als bei den bereits einbezogenen. Deshalb ist von einer Einbeziehung weiterer Senken dringend abzuraten.

Allenfalls die Anrechnung wichtiger Quellen, die mit Art. 3 Abs. 3 nicht erfaßt werden können, sollte über die in Art. 3 Abs. 4 eröffnete Möglichkeit versucht werden, falls es nicht gelingt, sie über entsprechende Definitionen in den IPCC-Richtlinien und in den Richtlinien nach Art. 7 Abs. 4 zu berücksichtigen.

Insbesondere die Degradation von Wald, deren Einbeziehung in die Definition von Entwaldung den konventionellen Definitionen widersprechen würde, könnte über diesen Weg als Quelle für Emissionen angerechnet werden. Damit würde der Bedeutung dieser Quelle (die, wie in Kap. 5 erläutert, von der gleichen Größenordnung ist wie die Entwaldung) Rechnung getragen. Auch die Trockenlegung von Feuchtgebieten, die zu einer Freisetzung bedeutender Mengen von Kohlenstoff führen kann, könnte über diesen Weg angerechnet werden. Die angemessene Anrechnung der Umwandlung von Primär- in Sekundärwald könnte, falls dies nicht über die Festlegung der Definitionen in den IPCC-Richtlinien und in den Richtlinien nach Art. 7 Abs. 4 gelingt, über die Anrechnung als zusätzliche Quelle nach Art. 3 Abs. 4 erreicht werden.

8.2.4

Zukünftige Verpflichtungszeiträume

Es ist unbedingt zu gewährleisten, daß die Verpflichtungszeiträume lückenlos aufeinander folgen. Darüber müssen die Vertragsstaaten nach Art. 3 Abs. 9 spätestens 7 Jahre vorher verhandeln, für den zweiten Verpflichtungszeitraum also spätestens im Jahre 2005. Damit läßt sich für zukünftige Verpflichtungszeiträume der Anreiz zur Abholzung zwischen den Verpflichtungszeiträumen verhindern. Auch sollte bei der Formulierung von Verpflichtungen für zukünftige Verpflichtungszeiträume die Bezugsmenge so definiert werden, daß kein Unterschied zwischen Netto-Emissionen in den Verpflichtungszeiträumen und Brutto-Emissionen im Bezugsjahr entsteht. Schließlich ist darauf hinzuwirken, daß die Verpflichtungszeiträume nicht länger als fünf Jahre sind,

um einer Verwässerung der Reduktionsverpflichtungen entgegenzuwirken.

8.3

„Gemeinsame Umsetzung“ von Maßnahmen zwischen Industrieländern

Die Anrechnung von Senken, die über die Anrechnung von Projekten in anderen Industrieländern nach Art. 6 möglich ist, muß im Sinne der oben beschriebenen Empfehlungen begrenzt werden. Sie darf insbesondere nicht dazu führen, daß über Art. 6 eine wechselseitige Anrechnung von Tätigkeiten ermöglicht wird, die im eigenen Land ausgeschlossen ist.

8.4

Maßnahmen in Entwicklungsländern

Der Beirat betont, daß er Anreize für den Senkenschutz auch in Entwicklungsländern durchaus befürwortet. In der vorliegenden Form könnte Art. 12 aber zu gefährlichen Anreizen führen, falls er so ausgelegt wird, daß er sich nicht nur auf Emissionen, sondern auch auf Senken bezieht. Wie in Kap. 7 erläutert, besteht die Gefahr, daß bei Anrechnung von Wiederaufforstungsprojekten im Rahmen des clean development mechanism (Art. 12) ein Anreiz zur Abholzung in Entwicklungsländern geschaffen wird, falls Wiederaufforstungsmaßnahmen ohne Anrechnung vorheriger Entwaldungen finanziert werden. Dies muß in jedem Fall verhindert werden. Eine Möglichkeit, diese Anreize zu verhindern, ist die Auslegung von Art. 12 dahingehend, daß er sich nur auf Emissionen, nicht auf Senken bezieht. Ist diese Auslegung nicht durchsetzbar, so sollte die Anrechnung von Senkenprojekten auf die Verpflichtungen von Industriestaaten zumindest so lange ausgeschlossen bleiben, solange die Entwicklungsländer nicht in die Verpflichtungen zur Emissionsbegrenzung und -reduktion einbezogen worden sind und solange die bestehenden Unsicherheiten in der Verifizierung von Senkenwirkungen in Entwicklungsländern nicht geklärt worden sind.

Der Ausschluß einer Anrechnung von Senken ließe sich nach Art. 12 Abs. 3 regeln, wonach nur „ein Teil“ der Verpflichtungen der Industrieländer über diesen Weg erfüllt werden kann. Dieser Teil könnte dahingehend definiert werden, daß Senken zunächst generell ausgenommen werden. Auch auf der Grundlage der in Art. 12 Abs. 5 (b) formulierten Bedingung an eine Zertifizierung von Emissionsreduktionen, wonach diese zu „realen, meßbaren und langfristigen Vorteilen in Bezug auf die Abschwächung der Kli-

maänderung“ führen müssen, ließe sich die Anrechnung von Senken ausschließen.

Falls eine Anrechnung von Senken nicht grundsätzlich auszuschließen ist, so sollte zumindest darauf hingewirkt werden, daß die Möglichkeit einer Anrechnung von Projekten an eine Reihe von Bedingungen hinsichtlich der Nachhaltigkeit und der Berücksichtigung der Biodiversität gekoppelt wird. Dies kann auch auf Grundlage von Art. 12 Abs. 5 (b) geschehen. Auch müssen für eine Anrechenbarkeit die gleichen Anforderungen an die Meßbarkeit und Verifizierbarkeit gestellt werden, wie sie für die Industrieländer gefordert werden. Auch die Vorschläge für die Richtlinien nach Art. 7 Abs. 4 sind hier anzuwenden. Insbesondere wäre danach eine Wiederaufforstung nur auf den Flächen anzurechnen, die bereits 1990 keinen Wald trugen.

Auch ohne eine Anrechnung von Senken in Projekten des clean development mechanism enthält das Kyoto-Protokoll eine Möglichkeit, den wünschenswerten Schutz natürlicher Speicher und Senken in Entwicklungsländern zu fördern. Nach Art. 4 Abs. 3 FCCC und Art. 11 Abs. 2 (a) Kyoto-Protokoll müssen Industrieländer ohnehin „neue und zusätzliche Finanzmittel bereitstellen, soweit die Entwicklungsländer sie benötigen, um die vereinbarten vollen Mehrkosten zu tragen“, die bei der Durchführung von Maßnahmen zum Klimaschutz entstehen, wenn diese Mehrkosten zwischen einem Entwicklungsland und dem finanziellen Mechanismus der Konvention vereinbart werden. Über den bestehenden Mechanismus der Global Environment Facility (GEF) sollten verstärkt Projekte zum Schutz natürlicher Speicher und Senken, insbesondere von Primärwäldern und Feuchtgebieten, finanziert werden.

Begriffen berücksichtigt werden. Der Beirat hat in seinem Jahresgutachten empfohlen, die internationalen politischen Programme zur Umwelt- und Entwicklungspolitik in einer einzigen „Organisation für nachhaltige Entwicklung“ der Vereinten Nationen zu bündeln (WBGU, 1998). Dies wäre ein wichtiger Schritt in Richtung auf eine Bewältigung dieser Koordinationsprobleme.

8.5

Zusammenarbeit zwischen den Gremien internationaler Umweltabkommen

Der Beirat hat bereits mehrfach auf die unzureichende Koordination im globalen Umweltschutz hingewiesen (WBGU, 1996; WBGU, 1998). Die Zielformulierungen und Maßnahmenkataloge der einzelnen Konventionen und anderer internationaler Vereinbarungen sollten stärker aufeinander abgestimmt werden (WBGU, 1996).

Der Beirat empfiehlt, auf eine verbesserte Zusammenarbeit zwischen den Gremien der (rechtlich voneinander unabhängigen) „Rio-Konventionen“ (Klimarahmen-, Biodiversitäts- und Desertifikationskonvention) hinzuwirken. Auch die anderen laufenden Verhandlungsprozesse (wie zum Beispiel das Intergovernmental Forum on Forests) sollten bei der Prüfung der Zielkonflikte und bei der Definition von

Bewirtschaftete Wälder: Wälder, die vom Menschen planmäßig und mehr oder weniger intensiv forstwirtschaftlich genutzt werden. Zu ihnen gehören auch Holzplantagen und naturnahe Wirtschaftswälder.

Brutto-Emission: Brutto-Emissionen nach dem Kyoto-Protokoll werden als die Emissionen der sechs in Anlage A des Kyoto-Protokolls aufgeführten Treibhausgase aus den dort angegebenen Quellen (Energie einschließlich Verkehr, Industrie, Landwirtschaft, Abfallbehandlung) definiert.

Femelschlag (-betrieb): Bewirtschaftungsform von Wäldern, bei der Altbäume gruppen- oder horstweise entnommen werden. Die so entstehenden Lichtungen dienen der Naturverjüngung des Bestandes.

Feuchtgebiete: Moore, Sümpfe, Feuchtwiesen, Bruchwälder und sonstige bodenfeucht-günstige oder grundwassernahe Gebiete. Außerdem können die gezeitenbeeinflussten Marschen und Mangrovensäume, periodisch überflutete Gebiete sowie vom Menschen angelegte Kulturen (im wesentlichen Reis) den Feuchtgebieten zugerechnet werden. Zu den torfbildenden Feuchtgebieten gehören vor allem die Hoch- und Niedermoore, je nach Standortbedingungen auch Sümpfe, Bruchwälder und Feuchtwiesen.

Humus: Im engeren Sinn nur die amorphe, organische, neu synthetisierte Substanz. Im weiteren Sinne die im Boden vorliegende, tote, Gewebereste enthaltende organische Substanz.

Kyoto-Wald: Unter Kyoto-Wald versteht der Beirat den Anteil der Wälder in den Industriestaaten, deren Bestandsänderung an Kohlenstoffvorräten im Verpflichtungszeitraum auf die Reduktionsverpflichtungen angerechnet wird. Es handelt sich nach Art. 3 Abs. 3 Kyoto-Protokoll um solche Wälder, die von seit 1990 erfolgten Aufforstungen, Wiederaufforstungen und Entwaldungen betroffen sind und für die im ersten Verpflichtungszeitraum (2008-2012) eine nachprüfbar Bestandsänderung der Kohlenstoffvorräten, die auf diese Tätigkeiten zurückgeführt werden kann, meßbar ist. Der Umfang des „Kyoto-Walds“ hängt von der

gewählten Definition der Tätigkeiten „Aufforstung“, „Wiederaufforstung“ und „Entwaldung“ ab.

Naturverjüngungen: Natürliche Regeneration eines Waldes oder Bestandes, die überwiegend durch natürlichen Samenanflug, Samenfall von Schirmbäumen und Sameneintrag durch Tiere erfolgt.

Netto-Emission: Unter Netto-Emissionen werden die Brutto-Emissionen zuzüglich der nach Art. 3 Abs. 3 und Art. 3 Abs. 4 anzurechnenden Emissionen aus Quellen und abzüglich der Aufnahme durch Senken im Bereich Landnutzungsänderung, Forstwirtschaft und landwirtschaftliche Böden verstanden. In Kurzform sind die Netto-Emissionen = Brutto-Emissionen – „Kyoto-Wald“.

Plantage: intensivste Bewirtschaftungsform von Wäldern. Sie ist gekennzeichnet durch 1. Monokulturen schnell wachsender Baumarten (z. B. Pappel, Pinus radiata, Eucalyptus), 2. kurze Umtriebszeiten (< 60 Jahre), 3. Regeneration des Bestandes durch Pflanzungen, 4. Einsatz von Bodendüngung und -bearbeitung, Schädlingsbekämpfung und andere Maßnahmen, die den Holzertrag erhöhen. Plantagen stellen einen Übergang zwischen forstlicher und landwirtschaftlicher Nutzung dar. Die meisten Aufforstungen sind diesem Bewirtschaftungstyp zuzurechnen.

Plenterwald: Form des Wirtschaftswaldes, die durch das Vorkommen von Bäumen aller Altersstufen auf derselben Fläche charakterisiert ist.

Sekundärwald: Wald, der sich nach Vernichtung der ursprünglichen Vegetation (Primärwald) durch den Menschen (z. B. Rodung, anthropogene Feuer) wieder selbständig regeneriert und damit überwiegend aus natürlicher Vegetation früher Sukzessionsstadien zusammengesetzt ist. Der Begriff wird nicht, wie häufig üblich, nur auf die Tropen angewandt: auch die nach Kahlschlag der Naturverjüngung überlassenen Wälder der borealen und temperaten Gebiete gehören zu den Sekundärwäldern.

Streu: Dem Mineralboden aufliegendes, nicht oder wenig zersetztes organisches Material. Es enthält die von der Vegetation innerhalb eines Jahres ab-

geworfenen Blätter, Stengel, Samen und Holzteile.

Wirtschaftswald: Bewirtschaftungsform von Wäldern, die gekennzeichnet ist durch

1. Monokulturen und/oder Mischwälder der Betriebsarten Hochwald (einschließlich Kahlschlag, Plenterwald, Femelschlag), Mittelwald und Niederwald,
2. lange Umtriebszeiten (≥ 60 Jahre),
3. Regeneration des Bestandes durch Naturverjüngung und/oder Pflanzungen,
4. pflegende Eingriffe in den Bestand (z. B. Durchforstung, Bodenverbesserung), die dem Erhalt der Waldfunktionen dienen.

Anhang Tabelle 1

Anthropogene CO₂-Emissionen und Aufnahmen aus Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft sowie Auswirkungen auf die Gesamt-CO₂-Emissionen, 1990 und 1995 (Gigagramm und Prozentsatz).

Quelle: UNFCCC, 1997a

Country	Land-use change and forestry, net emissions or removals		Percentage reduction / increase (-/+) of national CO ₂ emissions taking into account land-use change and forestry	
	1990	1995	1990	1995
	[Gigagram]	[Gigagram]	[%]	[%]
Australia	86 500	51 867	25	17
Austria	-13 300	-13 580	-21	-22
Belgium	-2 057	-2 057	-2	-2
Bulgaria (1988)	-4 657	-6 941	-5	-12
Canada				
Czech Republic	-2 281	-5 454	-1	-4
Denmark	-2 600		-5	
Estonia	-8 555		-23	
Finland	(-30 000) – (-19 000)	(-14 000) – (-7 000)	(-56) – (-35)	(-22) – (-12)
France	-33 218	-46 801	-9	-12
Germany	-30 000	-30 000	-3	-3
Greece				
Hungary (1985-87)	-3 097	-4 820	-4	-8
Iceland				
Ireland	-5 160	-6 230	-17	-18
Italy	-36 730		-9	
Japan	-83 341	-94 619	-7	-8
Latvia	-14 300	-15 831	-62	-141
Luxembourg				
Netherlands	-1 500	-1 700	-1	-1
New Zealand	-20 569	-13 487	-81	-49
Norway	-10 200	-13 637	-29	-36
Poland (1988)	-1 408	-43 861	0	-12
Portugal				
Romania (1989)	-2 925		-1	
Russian Federation	-392 690	-568 850	-17	-35
Slovakia	-4 257	-5 116	-7	-11
Spain	-23 166		-10	
Sweden	-34 368	-30 000	-62	-54
Switzerland	-4 360	-5 100	-10	-12
United Kingdom	18 776	9 945	3	2
United States	-458 000	-428 000	-9	-8
Total	-1 111 963		-8	

Anhang Tabelle 2

Verteilung der Kohlenstoffvorräte der Länder und Vegetationstypen sowie Kohlenstoffmenge pro Fläche. Die Angaben in der Tabelle unterscheiden sich von den globalen Kohlenstoffbilanzen nach Heimann et al. (1997) und IGBP (1998) (Tab. 2).

Quellen: nach (1) Dixon et al., 1994; (2) Atjay et al., 1979 in IPCC, 1990; (3) Shvidenko und Nilsson (1998)

Land	Fläche [Mio. ha]	Kohlenstoffvorrat [Gt C]			Kohlenstoff pro Fläche [t C ha ⁻¹]		
		Gesamt	Boden	Vegetation	Gesamt	Boden	Vegetation
<i>Wälder der Hohen Breiten¹</i>							
Rußland*	884	323	249	74	365	281	83
Kanada	436	223	211	12	511	484	28
Alaska	52	13	11	2	250	212	39
<i>Summe/Mittel</i>	1.372	559	471	88	407	343	64
<i>Wälder der Mittleren Breiten¹</i>							
USA (kontinental)	241	41	26	15	170	108	62
Europa	283	34	25	9	120	90	32
China	118	33	16	17	280	136	114
Australien	396	87	33	18	220	83	45
<i>Summe/Mittel</i>	1.038	195	100	59	188	96	57
<i>Wälder der Niedrigen Breiten¹</i>							
Asien (ohne China)	310	84-97	43	41-54	292	139	132-174
Afrika	527	167	63	52	317	120	99
Südamerika	918	229	110	119	249	120	130
<i>Summe/Mittel</i>	1.755	428	216	212	244	123	121
<i>Summe/Mittel Wälder</i>	4.165	1.146	787	359	275	189	86
<i>Grasländer²</i>							
(Tropische) Savannen	2.250	330	264	66	146	117	29
Temperate Grasländer	1.250	304	295	9	243	236	7
<i>Summe/Mittel</i>	3.500	634	559	75	181	160	21
Kulturland ²	1.600	131	128	3	82	80	2
Feuchtgebiete ²	350	240	225	15	686	643	43
Tundra, alpine Rasen ²	950	127	121	6	134	128	6
Wüste /Halbwüste ²	4.550	199	191	8	44	42	2
<i>Gesamt Summe/Mittel</i>	15.115	2.477	2.011	466	164	133	31

*Shvidenko und Nilsson (1998) geben für die Wälder Rußlands rund 50% geringere Kohlenstoffvorräte an als Dixon et al. (1994)

Wälder	organische Auflage [t C ha ⁻¹]
Temperat	24 (2–100)
Boreal	15,5 (4–42)
Subtropisch humid	10 (8–11)
Tropisch	4,5 (3–8)

Anhang Tabelle 3

Kohlenstoffvorräte in der organischen Auflage von Waldböden verschiedener Vegetationstypen. Wenn nur Angaben über die organische Substanz des Bodens vorlagen, wurde zur Umrechnung der organischen Substanz in Kohlenstoff ein Kohlenstoffgehalt von 50% angenommen. Die Kohlenstoffvorräte der organischen Auflage sind abhängig vor allem vom Klima (je kälter und je feuchter das Klima, desto höher die Akkumulation organischer Substanz), der Vegetation, dem Alter des Bestandes

des und der Nutzung. Nach dem deutschen Waldbodenbericht 1996 sind in deutschen Wäldern etwa 18% (18 t C ha⁻¹) des gesamten Bodenkohlenstoffs in der organischen Auflage festgelegt (BML, 1997b). In russischen Wäldern (ohne Torfböden) liegt dieser Anteil bei ca. 6% (11 t C ha⁻¹) (Shvidenko und Nilsson, 1998). Die Kohlenstoffvorräte im Totholz von Wäldern liegen je nach Vegetationstyp und Bewirtschaftung zwischen 1–225 t C ha⁻¹ (Krankina und Harmon, 1995; Harmon und Chen Hua, 1991; Turner et al., 1995).

Quellen: Black und Harden, 1995; Boone et al., 1988; Breymer et al., 1996; Burschel et al., 1993; Covington, 1981; Federer, 1984; Fölster, 1989; Gosz et al., 1976; Grigal und Ohmann, 1992; Harmon et al., 1990; Heimann et al., 1997; Liski und Westman, 1995; Liski und Westman, 1997; Matzner, 1989; Thuille, 1998; Schulze et al., 1995; Shvidenko und Nilsson, 1998; Switzer et al., 1979; Tate et al., 1993; Turner und Long, 1975; Vogt et al., 1983; Vogt et al., 1995

Anhang Tabelle 4

Abschätzung der Netto-Primärproduktivität (NPP) und Netto-Ökosystemproduktivität (NEP, gemessen über Eddy-Kovarianzanalysen, Inventurvergleiche oder Modelle) der verschiedenen terrestrischen Vegetationstypen. Die Werte für die NEP beruhen auf nur wenigen Messungen einzelner Bestände und Arten der verschiedenen Vegetationstypen. Die im Vergleich zur NPP z. T. überraschend hohe NEP der temperaten Wälder könnte (1) ein Hinweis auf die enorme Bedeutung der organischen Auflage und des Bodenkohlenstoffs für die Netto-C-Akkumulation von Ökosystemen sein (EC, 1997), (2) ein Hinweis darauf sein, daß die nächtliche Atmung unterschätzt wird, oder (3) daß periodische Störungen nicht berücksichtigt sind, die die NPP senken und die heterotrophe Atmung erhöhen (Buchmann und Schulze, 1998; Baldocchi et al., 1998; Shaver und Jonasson, 1997; Reich und Bolstad, 1997; Moore, 1996; Schulze und Heimann, 1998). (*) NEP: Ein negatives Vorzeichen beschreibt eine Netto-C-Aufnahme der Ökosysteme aus der Atmosphäre, ein positives Vorzeichen eine Netto-C-Abgabe der Ökosysteme in die Atmosphäre.

Quellen: (1) Valentini et al., 1996, (2) Frolking, 1997, (3) Schulze et al., 1998, (4) Miranda et al., 1997, (5) Kim et al., 1992, (6) Hensen et al., 1997, (7) Buchmann und Schulze, 1998; (8) Jarvis et al., 1997; (9) Larcher, 1994

Vegetationstyp	Land	Alter [Jahre]	NPP (Mittelwert /Spanne) [t C ha ⁻¹ Jahr ⁻¹]	NEP * (Median /Spanne) [t C ha ⁻¹ Jahr ⁻¹]	NEP/ NPP [%]	Quelle
NPP- UND NEP-MESSUNGEN						
<i>Fagus sylvatica</i>	Italien (1 Jahr)	90	8,02	-4,7	59	(1)
<i>Picea mariana</i>	Kanada (2 Jahre)	80	1,39 / 1,12	-0,26 / -0,025	19 / 2	(2)
<i>Larix gmelinii</i> , <i>Pinus sylvestris</i>	Eurosibirien (1 Monat)	6-220	1,8	-0,12 bis -0,36	ca. 13	(3)
NPP-LITERATURANGABEN⁹ UND NEP-MESSUNGEN						
Tropische Wälder		-	11 (5 bis 17,5)	-1	ca. 6-20	(7)
Temperate Nadel- und Laubwälder		30-90	6,3 (2 bis 12,5)	-1,4 bis -15,5 Median: -3,7	ca. 60	(7)
Boreale Nadel- und Laubwälder		70-90	4 (1 bis 7,5)	+0,7 bis -1,3 Median: -0,35	ca. 9	(7). (8)
tropische Grasländer/ Savanne (C4-Gräser)	Brasilien		4,5 (1 bis 10)	-2,5		(4)
Prärie (tallgrass)	USA (6 Monate, verrechnet als Vegetationsperiode)		3 (1 bis 7,5)	-3,75		(5)
bewirtschaftete, temperate Grasländer (C3-Gräser)	Niederlande		3 (1 bis 7,5)	+12 bis +0,2		(6)
* NEP: Ein negatives Vorzeichen beschreibt eine Netto-C-Aufnahme der Ökosysteme aus der Atmosphäre, ein positives Vorzeichen eine Netto-C-Abgabe der Ökosysteme in die Atmosphäre.						

Anhang Tabelle 5

Kohlenstoffvorräte von Primärwäldern oder alten, naturnahen Wäldern im Vergleich zu den Vorräten von Sekundärwäldern oder bewirtschafteten Wäldern (SOC: Bodenkohlenstoff (soil organic carbon))

Quellen: (1) Harmon et al., 1990; (2) Cannell et al., 1992; (3) Burschel et al., 1993; (4) nach Karjalainen, 1996, (5) Fölster, 1989; (6) Brown und Lugo, 1980; (7) Houghton et al., 1983; (8) Olson et al., 1983; (9) Schroeder und Winjum, 1995, (10) Alves et al., 1997; (11) Wenk et al., 1990; (12) Black und Harden, 1995

Vegetation	Vorrat Primärwald [t C ha ⁻¹]	Vorrat Sekundärwald/ bewirtschafteter Wald [t C ha ⁻¹]	Alter des Sekundärwaldes/ bewirtschafteten Waldes [Jahre]	Abnahme der C-Vorräte des Bestandes [t C ha ⁻¹]/(%)	Quelle
GESAMTBILANZEN					
TEMPERATE WÄLDER					
Temperater 450jähriger					
<i>Pseudotsuga-Tsuga</i> -Naturwald					
vs. 60jährige <i>Pseudotsuga</i> -					
Plantage, Kanada	gesamt 612	259-274	60	~346 (57)	(1)
Vegetation (ober- / unterird.)	433	192	60	241 (56)	
org. Auflage und Totholz	123	11-26	60	105 (85)	
Boden (SOC)	56	56	60	0	
Temperater alter Laubwald in Plantage, Europa ¹	380	230	80	150 (39)	(2)
Temp. Buchennaturwald vs. Buchenwirtschaftswald, Slowakei	290 (212-368)	137 (128-146)	150 (140-160)	~ 153 (53)	(3)
Moor, NW-Europa (Moor vs. Sitkafichtenforst) ¹	40 (Torf)	22	55	18 (45)	(2)
BOREALE WÄLDER					
Borealer nicht bewirtsch. Kiefern- wald vs. bewirtschaft. Kiefernwald, Finnland ²					
	190	~99	101-150	91 (48)	(4)
Borealer nicht bewirtsch. Fichten- wald vs. bewirtschaft. Fichtenwald, Finnland ²					
	169	~93	101-150	76 (45)	(4)
Borealer nicht bewirtsch. Birken- wald vs. bewirtschaft. Birkenwald, Finnland ²					
	130	~78	101-150	52 (40)	(4)
TROPISCHE WÄLDER					
Tropische Feuchtwälder					
Afrikas und Amerikas					
vs. Sekundärwald	273	127	18	146 (53)	(5)
vs. Holzplantage	273	155	20	118 (43)	
Tropische Dipterocarpacee- Wälder, SO-Asien					
vs. Sekundärwald	333	127	18	206 (62)	(5)
vs. Holzplantage	333	155	20	178 (53)	
Tropische wechselfeuchte Wälder					
vs. Sekundärwald	141	77	18	64 (45)	(5)
vs. Holzplantage	141	82	20	59 (42)	
Tropische feuchte Primärwälder					
vs. Sekundärwald	gesamt 240	180	-	63 (25)	(6) in (7)
Vegetation	156	117	-	39 (25)	
Boden und org. Auflage	84	63	-	21 (25)	
Tropische wechselfeuchte Primärwälder vs. Sekundärwald					
gesamt	124	93	-	31 (25)	(6) in (7)
Vegetation	84	63	-	21 (25)	
Boden und org. Auflage	40	30	-	10 (25)	
Tropischer immerfeuchter Primärwald vs. jungen, degradierten Sekundärwald, Brasilien					
gesamt	304	134	-	170 (56)	(8) in (9)
Vegetation	200	40	-	160 (80)	
Boden	104	94	-	10 (10)	

Vegetation	Vorrat Primärwald [t C ha ⁻¹]	Vorrat Sekundärwald/ bewirtschafteter Wald [t C ha ⁻¹]	Alter des Sekundärwaldes/ bewirtschafteten Waldes [Jahre]	Abnahme der C-Vorräte des Bestandes [t C ha ⁻¹]/(%)	Quelle
TEILBILANZEN					
VORRÄTE IN DER VEGETATION					
Tropische Primärwälder vs. Sekundärwälder, Brasilien	184	60	18	124 (67)	(10)
VORRÄTE IN DER HOLZBIOMASSE (OHNE SOC UND ORG. AUFLAGE)					
Temperater primärer Mischwald vs. Plenterwald (Dobroc), Slowakei	> 227	ca. 101 (54-147)	>100	126 (56)	in (11)
VORRÄTE IM MINERALBODEN (SOC) UND IN DER ORG. AUFLAGE					
Temperater natürlicher Laubmischwald vs. Sekundärwald, Kanada	158	97-101	80	59 (37)	(12)
¹ Mittel über die Umtriebszeit					
² Mittel über das Alter					

Anhang Tabelle 6

Kohlenstoffvorräte in der oberirdischen Biomasse und im Boden nach Umwandlung von Primärwald oder Savanne in Weideland oder Grasland. Berücksichtigte Bodentiefe ^(a) organische Auflage und A_h-Horizont ^(b) 0–30 cm ^(c) 0–100 cm
 Quellen: (1) Thuille, 1998; (2) Tomich et al., 1997; (3) Olson et al., 1983; (4) Schroeder und Winjum, 1995; (5) Neill et al., 1997; (6) Gaston et al., 1998; (7) de Moraes et al., 1996; (8) Fisher et al., 1994

Vegetationstyp	Wald / Savanne		Weideland / Grasland		Zeit [Jahre]	Änderung der C-Vorräte*	Quelle
	Biomasse [t C ha ⁻¹]	Boden [t C ha ⁻¹]	Biomasse [t C ha ⁻¹]	Boden [t C ha ⁻¹]			
Temperater Fichten- Plenterwald in Weide, Italien (subalpin) ^(a)	207	72	0	30	ca. 200	+249	(1)
Tropische <i>Dipterocarpus</i> Wälder vs <i>Imperata</i> Degradation, SO-Asien ^(c)	235	130	15	75	-	+275	(2)
Tropischer Primärwald vs Weide, Brasilien ^(c)	200	104	10	95	-	+199	(3) in (4)
Tropischer Primärwald vs Weide, Brasilien (Bodenchron- sequenzen) ^(b)		32 27 30		50 39 45	81 20 20	-18 -12 -15	(5)
Feuchte Tieflandwälder vs Grassavanne, Afrika ^(c)	180		6		-	+174	(6)
Tropischer Primärwald in Weide <i>Brachiaria</i> und <i>Panicum</i> , Brasilien ^(b)	-	37	-	46-72	20-81	-9 bis -35	(7)
Savanne in <i>Andropogon</i> <i>gayanus</i> / <i>Stylosanthes</i> <i>capita</i> , Kolumbien ^(c)	-	187	-	237	3	-50	(8)
Savanne in <i>Brachiaria</i> <i>humidicola</i> , Kolumbien ^(c)	-	197	-	223	9	-26	(8)
Savanne in <i>Brachiaria</i> <i>humidicola</i> / <i>Arachis pintoii</i> , Kolumbien ^(c)	-	197	-	268	9	-71	(8)

* Ein negatives Vorzeichen beschreibt eine Netto-C-Aufnahme der Ökosysteme aus der Atmosphäre, ein positives Vorzeichen eine Netto-C-Abgabe der Ökosysteme in die Atmosphäre

Anhang Tabelle 7

Vorratsänderung des Bodenkohlenstoffs durch Ackernutzung ehemaliger tropischer Waldstandorte. Es sind jeweils zwei Tiefen eines Profils gegenübergestellt worden, so daß tiefenbezogene Vorratsänderungen abgeleitet werden können.

Quelle: (1) Vitorello et al., 1989; (3) Lal und Logan, 1995; (4) Woomeer et al., 1998

Vorräte [t C ha ⁻¹]	Verluste [t C ha ⁻¹]	Änderung in Prozent	Verlustrate [t C ha ⁻¹ Jahr ⁻¹]	Nutzungsdauer	Tiefe	Quelle
74,0	36,0	48,6	3,0	12	20	(1)
52,0	12,0	23,1	1,0	12	70	(1)
74,0	38,0	51,4	0,8	50	20	(1)
52,0	-4,0	-7,7	-0,1	50	70	(1)
53,8	11,0	20,4	1,1	10	25	(2)
29,3	0,3	1,0	0,0	10	50	(2)
53,8	37,5	69,7	3,8	10	25	(2)
29,3	16,3	55,6	1,6	10	50	(2)
108,0	47,7	44,2	6,0	8	15	(4)
146,0	29,3	20,1	3,7	8	60	(4)
90,0	55,0	61,1	5,5	10	25	(4)
40,0	5,0	12,5	0,5	10	50	(4)

Anhang Tabelle 8

Vorratsänderung des Bodenkohlenstoffs durch Ackernutzung ehemaliger temperater Graslandstandorte. Es sind jeweils zwei Tiefen eines Profils gegenübergestellt worden, so daß tiefenbezogene Vorratsänderungen abgeleitet werden können.

Quelle: (5) Brown und Lugo, 1990; (6) Bouwman, 1990; (7) Tiessen et al., 1982; (8) Voroney et al., 1981

Vorräte [t C ha ⁻¹]	Verluste [t C ha ⁻¹]	Änderung in Prozent	Verlustrate [t C ha ⁻¹ Jahr ⁻¹]	Nutzungsdauer	Tiefe	Quelle
23,6	9,5	40,3	3,1	3	15	(5)
16,3	2,8	17,2	0,9	3	30	(5)
23,6	10,7	45,3	0,5	20	15	(5)
16,3	4,1	25,2	0,2	20	30	(5)
23,6	14,7	62,3	0,4	60	15	(5)
16,3	5,8	35,6	0,1	60	30	(5)
53,8	30,4	56,5	0,3	90	15	(6)
39,2	22	56,1	0,2	90	30	(6)
66,5	11,9	17,9	0,7	18	15	(6)
35,4	0,2	0,6	0,0	31	30	(6)
94	38	40,4	0,2	70	25	(8)
22,3	8,3	37,2	0,1	70	50	(8)
51	16,2	31,8	0,2	65	15	(7)
33,5	-0,7	-2,1	0,0	65	35	(7)

Anhang Tabelle 9

Treibhausgasvorräte und -flüsse in Feuchtgebieten

a) Kohlenstoffvorräte und -flüsse von torfbildenden Feuchtgebieten.

b) Methanfreisetzung und entsprechende CO₂-äquivalente Emissionen aus natürlichen Feuchtgebieten und aus Reisanbau. Beim GWP (Global Warming Potential) (IPCC, 1996a) handelt es sich um einen Umrechnungsfaktor, um die Methanfreisetzung in für die Treibhauswirksamkeit äquivalente CO₂-Emissionen umzurechnen. Das GWP ist vom Zeithorizont abhängig (z. B. 20, 100, 500 Jahre).

c) Kohlendioxidemissionen aus der Konversion von Feuchtgebieten (nur Sümpfe und Moore).

Quelle: (1) Aselmann und Crutzen, 1989; (2) Bartlett und Harris, 1993; (3) Gorham, 1991; (4) Crill et al., 1993; (5) Batjes und Bridges, 1992; (6) Schütz et al., 1989; (7) Bouwman, 1990; (8) Adger und Brown, 1994; (9) Neue, 1991; (10) Neue, 1997; (11) Mitsch und Wu, 1995; (12) Laine et al., 1996; (13) Sakovets und Germanova, 1992; (14) Silvola et al., 1996; (15) Kasimir-Klemedtsson et al., 1997; (16) Silvola, 1986; (17) Adger, 1994; (18) Öquist und Svensson, 1996; (19) Nykänen et al., 1995; (20) Zoltai und Martikainen, 1996; (21) Ovenden, 1990; (22) Armentano und Menges, 1986; (23) Rothwell, 1991; (24) Woodwell et al., 1995; (25) Bruenig, 1990

a	Vorrat (t C ha ⁻¹)		Kohlenstoffaufnahme (t C ha ⁻¹ Jahr ⁻¹)	Quelle
	Boden	Biomasse		
global	1.181-1.537	k.A.	0,1 bis 0,35	(11), (20), (22), (24)
Tropen	1.700-2.880	500	k.A.	(10), (25), (20)
temperate/ boreale Bereiche	1.314-1.315	120	0,17 bis 0,29	(16), (20), (21), (23), (25)

b	Methanemissionen (t C ha ⁻¹ Jahr ⁻¹)	Äquivalente CO ₂ -Emissionen (t C ha ⁻¹ Jahr ⁻¹)			Region	Quelle
		GWP (Faktor/Zeithorizont in Jahren)				
		56 (20)	21 (100)	6,5 (500)		
Methanfreisetzung aus natürlichen Feuchtgebieten	0,05-0,21 0,26-0,28 0,08-0,15	2,8-4,4 14,6-15,7 4,5-8,4	1,1-4,4 5,5-5,9 1,7-3,2	0,3-1,4 1,7-1,8 0,5-1	global Tropen borealer/ temperat	(1), (2) (2), (4) (2), (4)
Methanfreisetzung aus Reisanbau	0,13-0,89	7,3-49,8	2,7-18,7	0,85-5,8	global	(1), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10)

c	CO ₂ -Emissionen		Quelle
	Entwässerung [t C ha ⁻¹ Jahr ⁻¹]	landwirtschaftliche Nutzung [t C ha ⁻¹ Jahr ⁻¹]	
global	0,23-0,26	1-10	(11), (12), (13), (14), (16)
temperater und borealer Bereich	0,1-0,32	1-19	(7), (15), (17), (18), (19)

Anhang Tabelle 10

Potentiale für die Aufnahme und Speicherung von Kohlenstoff durch Aufforstungsmaßnahmen (Plantagen) für den Zeitraum von 1995–2050 in verschiedenen geographischen Regionen.

Quellen: nach Nilsson und Schopfhauser, 1995

Geographische Region	Vorrat Biomasse [Gt C]	Vorrat Boden ^{a)} [Gt C]	Speicherung [t C ha ⁻¹]	Aufnahme in Biomasse [t C ha ⁻¹ Jahr ⁻¹]	Aufnahme in Boden ^{a)} [t C ha ⁻¹ Jahr ⁻¹]	Fläche [Mio. ha]
BOREAL						
Kanada	0,51	0,17	73	1,1	0,4	9,3
Nordeuropa	0,025	0,0075	92,6	1,4	0,4	0,35
ehemalige UdSSR	1,32	0,44	26,5	0,4	0,1	66,5
TEMPERAT						
USA	2,03	0,76	155	2,3	0,8	18
Australien	0,23	0,08	392	5,3	1,8	0,79
Europa	0,72	0,24	123,9	1,9	0,6	7,75
Asien	2,92	0,97	50,5	0,8	0,3	75
Südamerika	0,77	0,25	223,7	3,4	1,1	4,56
TROPEN						
Afrika	0,73	0,23	208,7	3,2	1,0	4,6
Südamerika	6,01	2,01	327,4	4,9	1,6	24,5
Asien	5,63	1,88	172,2	3,0	1,0	37,8
a) Streu, Bodenkohlenstoff und Wurzelbiomasse – mit einem Anteil von 25% berechnet						

Anhang Tabelle 11

Modell-Berechnungen (NDEP-Model, perturbation model of terrestrial biogeochemistry) zur Wirkung erhöhter Stickstoffdepositionen auf die Kohlenstoffsinkenkapazität der Erde. Die N-Depositionen wurden über die Chemie-Transport-Modelle MOGUNTIA (Holland et al., 1997) und GRANTOUR (Asner et al., 1997) berechnet. Die aktuelle Vegetation bezieht sich auf Matthews, 1983 (nach Townsend et al., 1996a). Die Modellberechnung zeigt, daß die historische Entwaldung die Senkenfunktion der Kontinente um 30% verringerte. Die NH_x-Depositionen (landwirtschaftliche Quellen) erhöhen die Steigerung der kontinentalen C-Senken durch NO_y-Depositionen um mehr als 50%. Dem Modell zufolge verbleibt ein N-Effekt, der in etwa die historische Entwaldung ausgleicht. Die Abnahme der C-Senke bei N-Sättigung macht deutlich, daß die Vorstellung einer Erhöhung der C-Bindung durch N-Düngung nicht nachhaltig ist. Vor allem in Europa und Nordamerika sinkt die Senkenkapazität infolge der N-Sättigung. Die Modelle überschätzen vermutlich die Auswirkungen einer N-Deposition in den Tropen, da dort häufig andere Nährelemente, insbesondere Phosphat limitierend sind (Vitousek, 1984; Tanner et al., 1998).

	N-Deposition			Globale C-Festlegung in der Biomasse [Gt C Jahr ⁻¹]
	NO _y	NH _x	N-Sättigung	
Ursprüngliche Vegetation	X	-	-	1,04 ¹
Aktuelle Vegetation	X	-	-	0,74 ¹
				0,90–1,13 ²
Aktuelle Vegetation	X	X	-	1,42–1,97 ²
Aktuelle Vegetation	X	-	X	0,44
				0,62–0,71 ²
Aktuelle Vegetation	X	X	X	1,09–1,35 ²

KYOTO PROTOCOL TO THE UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE

*The Parties to this Protocol,
Being Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change, hereinafter referred to as „the Convention“,*

In pursuit of the ultimate objective of the Convention as stated in its Article 2,

Recalling the provisions of the Convention,

Being guided by Article 3 of the Convention,

Pursuant to the Berlin Mandate adopted by decision 1/CP.1 of the Conference of the Parties to the Convention at its first session,

Have agreed as follows:

ARTICLE 1

For the purposes of this Protocol, the definitions contained in Article 1 of the Convention shall apply. In addition:

1. „Conference of the Parties“ means the Conference of the Parties to the Convention.

2. „Convention“ means the United Nations Framework Convention on Climate Change, adopted in New York on 9 May 1992.

3. „Intergovernmental Panel on Climate Change“ means the Intergovernmental Panel on Climate Change established in 1988 jointly by the World Meteorological Organization and the United Nations Environment Programme.

4. „Montreal Protocol“ means the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer, adopted in Montreal on 16 September 1987 and as subsequently adjusted and amended.

5. „Parties present and voting“ means Parties present and casting an affirmative or negative vote.

6. „Party“ means, unless the context otherwise indicates, a Party to this Protocol.

7. „Party included in Annex I“ means a Party included in Annex I to the Convention, as may be amended, or a Party which has made a notification under Article 4, paragraph 2(g), of the Convention.

ARTICLE 2

1. Each Party included in Annex I, in achieving its quantified emission limitation and reduction commitments under Article 3, in order to promote sustainable development, shall:

(a) Implement and/or further elaborate policies and measures in accordance with its national circumstances, such as:

(i) Enhancement of energy efficiency in relevant sectors of the national economy;

(ii) Protection and enhancement of sinks and reservoirs of greenhouse gases not controlled by the Montreal Protocol, taking into account its commitments under relevant international environmental agreements; promotion of sustainable forest management practices, afforestation and reforestation;

(iii) Promotion of sustainable forms of agriculture in light of climate change considerations;

(iv) Research on, and promotion, development and increased use of, new and renewable forms of energy, of carbon dioxide sequestration technologies and of advanced and innovative environmentally sound technologies;

(v) Progressive reduction or phasing out of market imperfections, fiscal incentives, tax and duty exemptions and subsidies in all greenhouse gas emitting sectors that run counter to the objective of the Convention and application of market instruments;

(vi) Encouragement of appropriate reforms in relevant sectors aimed at promoting policies and measures which limit or reduce emissions of greenhouse gases not controlled by the Montreal Protocol;

(vii) Measures to limit and/or reduce emissions of greenhouse gases not controlled by the Montreal Protocol in the transport sector;

(viii) Limitation and/or reduction of methane emissions through recovery and use in waste management, as well as in the production, transport and distribution of energy;

(b) Cooperate with other such Parties to enhance the individual and combined effectiveness of their

policies and measures adopted under this Article, pursuant to Article 4, paragraph 2(e)(i), of the Convention. To this end, these Parties shall take steps to share their experience and exchange information on such policies and measures, including developing ways of improving their comparability, transparency and effectiveness. The Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol shall, at its first session or as soon as practicable thereafter, consider ways to facilitate such cooperation, taking into account all relevant information.

2. The Parties included in Annex I shall pursue limitation or reduction of emissions of greenhouse gases not controlled by the Montreal Protocol from aviation and marine bunker fuels, working through the International Civil Aviation Organization and the International Maritime Organization, respectively.

3. The Parties included in Annex I shall strive to implement policies and measures under this Article in such a way as to minimize adverse effects, including the adverse effects of climate change, effects on international trade, and social, environmental and economic impacts on other Parties, especially developing country Parties and in particular those identified in Article 4, paragraphs 8 and 9, of the Convention, taking into account Article 3 of the Convention. The Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol may take further action, as appropriate, to promote the implementation of the provisions of this paragraph.

4. The Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol, if it decides that it would be beneficial to coordinate any of the policies and measures in paragraph 1(a) above, taking into account different national circumstances and potential effects, shall consider ways and means to elaborate the coordination of such policies and measures.

ARTICLE 3

1. The Parties included in Annex I shall, individually or jointly, ensure that their aggregate anthropogenic carbon dioxide equivalent emissions of the greenhouse gases listed in Annex A do not exceed their assigned amounts, calculated pursuant to their quantified emission limitation and reduction commitments inscribed in Annex B and in accordance with the provisions of this Article, with a view to reducing their overall emissions of such gases by at least 5 per cent below 1990 levels in the commitment period 2008 to 2012.

2. Each Party included in Annex I shall, by 2005, have made demonstrable progress in achieving its commitments under this Protocol.

3. The net changes in greenhouse gas emissions by sources and removals by sinks resulting from direct human-induced land-use change and forestry activities, limited to afforestation, reforestation and deforestation since 1990, measured as verifiable changes in carbon stocks in each commitment period, shall be used to meet the commitments under this Article of each Party included in Annex I. The greenhouse gas emissions by sources and removals by sinks associated with those activities shall be reported in a transparent and verifiable manner and reviewed in accordance with Articles 7 and 8.

4. Prior to the first session of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol, each Party included in Annex I shall provide, for consideration by the Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice, data to establish its level of carbon stocks in 1990 and to enable an estimate to be made of its changes in carbon stocks in subsequent years. The Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol shall, at its first session or as soon as practicable thereafter, decide upon modalities, rules and guidelines as to how, and which, additional human-induced activities related to changes in greenhouse gas emissions by sources and removals by sinks in the agricultural soils and the land-use change and forestry categories shall be added to, or subtracted from, the assigned amounts for Parties included in Annex I, taking into account uncertainties, transparency in reporting, verifiability, the methodological work of the Intergovernmental Panel on Climate Change, the advice provided by the Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice in accordance with Article 5 and the decisions of the Conference of the Parties. Such a decision shall apply in the second and subsequent commitment periods. A Party may choose to apply such a decision on these additional human-induced activities for its first commitment period, provided that these activities have taken place since 1990.

5. The Parties included in Annex I undergoing the process of transition to a market economy whose base year or period was established pursuant to decision 9/CP.2 of the Conference of the Parties at its second session shall use that base year or period for the implementation of their commitments under this Article. Any other Party included in Annex I undergoing the process of transition to a market economy which has not yet submitted its first national communication under Article 12 of the Convention may also notify the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol that it intends to use an historical base year or period other than 1990 for the implementation of its commitments under this Article. The Conference of the Parties serv-

ing as the meeting of the Parties to this Protocol shall decide on the acceptance of such notification.

6. Taking into account Article 4, paragraph 6, of the Convention, in the implementation of their commitments under this Protocol other than those under this Article, a certain degree of flexibility shall be allowed by the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol to the Parties included in Annex I undergoing the process of transition to a market economy.

7. In the first quantified emission limitation and reduction commitment period, from 2008 to 2012, the assigned amount for each Party included in Annex I shall be equal to the percentage inscribed for it in Annex B of its aggregate anthropogenic carbon dioxide equivalent emissions of the greenhouse gases listed in Annex A in 1990, or the base year or period determined in accordance with paragraph 5 above, multiplied by five. Those Parties included in Annex I for whom land-use change and forestry constituted a net source of greenhouse gas emissions in 1990 shall include in their 1990 emissions base year or period the aggregate anthropogenic carbon dioxide equivalent emissions by sources minus removals by sinks in 1990 from land-use change for the purposes of calculating their assigned amount.

8. Any Party included in Annex I may use 1995 as its base year for hydrofluorocarbons, perfluorocarbons and sulphur hexafluoride, for the purposes of the calculation referred to in paragraph 7 above.

9. Commitments for subsequent periods for Parties included in Annex I shall be established in amendments to Annex B to this Protocol, which shall be adopted in accordance with the provisions of Article 21, paragraph 7. The Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol shall initiate the consideration of such commitments at least seven years before the end of the first commitment period referred to in paragraph 1 above.

10. Any emission reduction units, or any part of an assigned amount, which a Party acquires from another Party in accordance with the provisions of Article 6 or of Article 17 shall be added to the assigned amount for the acquiring Party.

11. Any emission reduction units, or any part of an assigned amount, which a Party transfers to another Party in accordance with the provisions of Article 6 or of Article 17 shall be subtracted from the assigned amount for the transferring Party.

12. Any certified emission reductions which a Party acquires from another Party in accordance with the provisions of Article 12 shall be added to the assigned amount for the acquiring Party.

13. If the emissions of a Party included in Annex I in a commitment period are less than its assigned amount under this Article, this difference shall, on re-

quest of that Party, be added to the assigned amount for that Party for subsequent commitment periods.

14. Each Party included in Annex I shall strive to implement the commitments mentioned in paragraph 1 above in such a way as to minimize adverse social, environmental and economic impacts on developing country Parties, particularly those identified in Article 4, paragraphs 8 and 9, of the Convention. In line with relevant decisions of the Conference of the Parties on the implementation of those paragraphs, the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol shall, at its first session, consider what actions are necessary to minimize the adverse effects of climate change and/or the impacts of response measures on Parties referred to in those paragraphs. Among the issues to be considered shall be the establishment of funding, insurance and transfer of technology.

ARTICLE 4

1. Any Parties included in Annex I that have reached an agreement to fulfil their commitments under Article 3 jointly, shall be deemed to have met those commitments provided that their total combined aggregate anthropogenic carbon dioxide equivalent emissions of the greenhouse gases listed in Annex A do not exceed their assigned amounts calculated pursuant to their quantified emission limitation and reduction commitments inscribed in Annex B and in accordance with the provisions of Article 3. The respective emission level allocated to each of the Parties to the agreement shall be set out in that agreement.

2. The Parties to any such agreement shall notify the secretariat of the terms of the agreement on the date of deposit of their instruments of ratification, acceptance or approval of this Protocol, or accession thereto. The secretariat shall in turn inform the Parties and signatories to the Convention of the terms of the agreement.

3. Any such agreement shall remain in operation for the duration of the commitment period specified in Article 3, paragraph 7.

4. If Parties acting jointly do so in the framework of, and together with, a regional economic integration organization, any alteration in the composition of the organization after adoption of this Protocol shall not affect existing commitments under this Protocol. Any alteration in the composition of the organization shall only apply for the purposes of those commitments under Article 3 that are adopted subsequent to that alteration.

5. In the event of failure by the Parties to such an agreement to achieve their total combined level of emission reductions, each Party to that agreement

shall be responsible for its own level of emissions set out in the agreement.

6. If Parties acting jointly do so in the framework of, and together with, a regional economic integration organization which is itself a Party to this Protocol, each member State of that regional economic integration organization individually, and together with the regional economic integration organization acting in accordance with Article 24, shall, in the event of failure to achieve the total combined level of emission reductions, be responsible for its level of emissions as notified in accordance with this Article.

ARTICLE 5

1. Each Party included in Annex I shall have in place, no later than one year prior to the start of the first commitment period, a national system for the estimation of anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of all greenhouse gases not controlled by the Montreal Protocol. Guidelines for such national systems, which shall incorporate the methodologies specified in paragraph 2 below, shall be decided upon by the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol at its first session.

2. Methodologies for estimating anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of all greenhouse gases not controlled by the Montreal Protocol shall be those accepted by the Intergovernmental Panel on Climate Change and agreed upon by the Conference of the Parties at its third session. Where such methodologies are not used, appropriate adjustments shall be applied according to methodologies agreed upon by the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol at its first session. Based on the work of, inter alia, the Intergovernmental Panel on Climate Change and advice provided by the Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice, the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol shall regularly review and, as appropriate, revise such methodologies and adjustments, taking fully into account any relevant decisions by the Conference of the Parties. Any revision to methodologies or adjustments shall be used only for the purposes of ascertaining compliance with commitments under Article 3 in respect of any commitment period adopted subsequent to that revision.

3. The global warming potentials used to calculate the carbon dioxide equivalence of anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of greenhouse gases listed in Annex A shall be those accepted by the Intergovernmental Panel on Climate Change and agreed upon by the Conference of the Parties at its third session. Based on the work of, inter alia, the Intergovernmental Panel on Climate Change and

advice provided by the Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice, the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol shall regularly review and, as appropriate, revise the global warming potential of each such greenhouse gas, taking fully into account any relevant decisions by the Conference of the Parties. Any revision to a global warming potential shall apply only to commitments under Article 3 in respect of any commitment period adopted subsequent to that revision.

ARTICLE 6

1. For the purpose of meeting its commitments under Article 3, any Party included in Annex I may transfer to, or acquire from, any other such Party emission reduction units resulting from projects aimed at reducing anthropogenic emissions by sources or enhancing anthropogenic removals by sinks of greenhouse gases in any sector of the economy, provided that:

- (a) Any such project has the approval of the Parties involved;
- (b) Any such project provides a reduction in emissions by sources, or an enhancement of removals by sinks, that is additional to any that would otherwise occur;
- (c) It does not acquire any emission reduction units if it is not in compliance with its obligations under Articles 5 and 7; and
- (d) The acquisition of emission reduction units shall be supplemental to domestic actions for the purposes of meeting commitments under Article 3. 2. The Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol may, at its first session or as soon as practicable thereafter, further elaborate guidelines for the implementation of this Article, including for verification and reporting.

3. A Party included in Annex I may authorize legal entities to participate, under its responsibility, in actions leading to the generation, transfer or acquisition under this Article of emission reduction units.

4. If a question of implementation by a Party included in Annex I of the requirements referred to in this Article is identified in accordance with the relevant provisions of Article 8, transfers and acquisitions of emission reduction units may continue to be made after the question has been identified, provided that any such units may not be used by a Party to meet its commitments under Article 3 until any issue of compliance is resolved.

ARTICLE 7

1. Each Party included in Annex I shall incorporate in its annual inventory of anthropogenic emis-

sions by sources and removals by sinks of greenhouse gases not controlled by the Montreal Protocol, submitted in accordance with the relevant decisions of the Conference of the Parties, the necessary supplementary information for the purposes of ensuring compliance with Article 3, to be determined in accordance with paragraph 4 below.

2. Each Party included in Annex I shall incorporate in its national communication, submitted under Article 12 of the Convention, the supplementary information necessary to demonstrate compliance with its commitments under this Protocol, to be determined in accordance with paragraph 4 below.

3. Each Party included in Annex I shall submit the information required under paragraph 1 above annually, beginning with the first inventory due under the Convention for the first year of the commitment period after this Protocol has entered into force for that Party. Each such Party shall submit the information required under paragraph 2 above as part of the first national communication due under the Convention after this Protocol has entered into force for it and after the adoption of guidelines as provided for in paragraph 4 below. The frequency of subsequent submission of information required under this Article shall be determined by the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol, taking into account any timetable for the submission of national communications decided upon by the Conference of the Parties.

4. The Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol shall adopt at its first session, and review periodically thereafter, guidelines for the preparation of the information required under this Article, taking into account guidelines for the preparation of national communications by Parties included in Annex I adopted by the Conference of the Parties. The Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol shall also, prior to the first commitment period, decide upon modalities for the accounting of assigned amounts.

ARTICLE 8

1. The information submitted under Article 7 by each Party included in Annex I shall be reviewed by expert review teams pursuant to the relevant decisions of the Conference of the Parties and in accordance with guidelines adopted for this purpose by the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol under paragraph 4 below. The information submitted under Article 7, paragraph 1, by each Party included in Annex I shall be reviewed as part of the annual compilation and accounting of emissions inventories and assigned amounts. Additionally, the information submitted under

Article 7, paragraph 2, by each Party included in Annex I shall be reviewed as part of the review of communications.

2. Expert review teams shall be coordinated by the secretariat and shall be composed of experts selected from those nominated by Parties to the Convention and, as appropriate, by intergovernmental organizations, in accordance with guidance provided for this purpose by the Conference of the Parties.

3. The review process shall provide a thorough and comprehensive technical assessment of all aspects of the implementation by a Party of this Protocol. The expert review teams shall prepare a report to the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol, assessing the implementation of the commitments of the Party and identifying any potential problems in, and factors influencing, the fulfilment of commitments. Such reports shall be circulated by the secretariat to all Parties to the Convention. The secretariat shall list those questions of implementation indicated in such reports for further consideration by the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol.

4. The Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol shall adopt at its first session, and review periodically thereafter, guidelines for the review of implementation of this Protocol by expert review teams taking into account the relevant decisions of the Conference of the Parties.

5. The Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol shall, with the assistance of the Subsidiary Body for Implementation and, as appropriate, the Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice, consider:

- (a) The information submitted by Parties under Article 7 and the reports of the expert reviews thereon conducted under this Article; and
- (b) Those questions of implementation listed by the secretariat under paragraph 3 above, as well as any questions raised by Parties.

6. Pursuant to its consideration of the information referred to in paragraph 5 above, the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol shall take decisions on any matter required for the implementation of this Protocol.

ARTICLE 9

1. The Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol shall periodically review this Protocol in the light of the best available scientific information and assessments on climate change and its impacts, as well as relevant technical, social and economic information. Such reviews shall be coordinated with pertinent reviews under the Convention, in particular those required by Arti-

cle 4, paragraph 2(d), and Article 7, paragraph 2(a), of the Convention. Based on these reviews, the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol shall take appropriate action.

2. The first review shall take place at the second session of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol. Further reviews shall take place at regular intervals and in a timely manner.

ARTICLE 10

All Parties, taking into account their common but differentiated responsibilities and their specific national and regional development priorities, objectives and circumstances, without introducing any new commitments for Parties not included in Annex I, but reaffirming existing commitments under Article 4, paragraph 1, of the Convention, and continuing to advance the implementation of these commitments in order to achieve sustainable development, taking into account Article 4, paragraphs 3, 5 and 7, of the Convention, shall:

- (a) Formulate, where relevant and to the extent possible, cost-effective national and, where appropriate, regional programmes to improve the quality of local emission factors, activity data and/or models which reflect the socio-economic conditions of each Party for the preparation and periodic updating of national inventories of anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of all greenhouse gases not controlled by the Montreal Protocol, using comparable methodologies to be agreed upon by the Conference of the Parties, and consistent with the guidelines for the preparation of national communications adopted by the Conference of the Parties;
- (b) Formulate, implement, publish and regularly update national and, where appropriate, regional programmes containing measures to mitigate climate change and measures to facilitate adequate adaptation to climate change:
 - (i) Such programmes would, *inter alia*, concern the energy, transport and industry sectors as well as agriculture, forestry and waste management. Furthermore, adaptation technologies and methods for improving spatial planning would improve adaptation to climate change; and
 - (ii) Parties included in Annex I shall submit information on action under this Protocol, including national programmes, in accordance with Article 7; and other Parties shall seek to include in their national communications, as appropriate, information on programmes which contain measures that the Party be-

lieves contribute to addressing climate change and its adverse impacts, including the abatement of increases in greenhouse gas emissions, and enhancement of and removals by sinks, capacity building and adaptation measures;

- (c) Cooperate in the promotion of effective modalities for the development, application and diffusion of, and take all practicable steps to promote, facilitate and finance, as appropriate, the transfer of, or access to, environmentally sound technologies, know-how, practices and processes pertinent to climate change, in particular to developing countries, including the formulation of policies and programmes for the effective transfer of environmentally sound technologies that are publicly owned or in the public domain and the creation of an enabling environment for the private sector, to promote and enhance the transfer of, and access to, environmentally sound technologies;
- (d) Cooperate in scientific and technical research and promote the maintenance and the development of systematic observation systems and development of data archives to reduce uncertainties related to the climate system, the adverse impacts of climate change and the economic and social consequences of various response strategies, and promote the development and strengthening of endogenous capacities and capabilities to participate in international and intergovernmental efforts, programmes and networks on research and systematic observation, taking into account Article 5 of the Convention;
- (e) Cooperate in and promote at the international level, and, where appropriate, using existing bodies, the development and implementation of education and training programmes, including the strengthening of national capacity building, in particular human and institutional capacities and the exchange or secondment of personnel to train experts in this field, in particular for developing countries, and facilitate at the national level public awareness of, and public access to information on, climate change. Suitable modalities should be developed to implement these activities through the relevant bodies of the Convention, taking into account Article 6 of the Convention;
- (f) Include in their national communications information on programmes and activities undertaken pursuant to this Article in accordance with relevant decisions of the Conference of the Parties; and

- (g) Give full consideration, in implementing the commitments under this Article, to Article 4, paragraph 8, of the Convention.

ARTICLE 11

1. In the implementation of Article 10, Parties shall take into account the provisions of Article 4, paragraphs 4, 5, 7, 8 and 9, of the Convention.

2. In the context of the implementation of Article 4, paragraph 1, of the Convention, in accordance with the provisions of Article 4, paragraph 3, and Article 11 of the Convention, and through the entity or entities entrusted with the operation of the financial mechanism of the Convention, the developed country Parties and other developed Parties included in Annex II to the Convention shall:

- (a) Provide new and additional financial resources to meet the agreed full costs incurred by developing country Parties in advancing the implementation of existing commitments under Article 4, paragraph 1(a), of the Convention that are covered in Article 10, subparagraph (a); and
- (b) Also provide such financial resources, including for the transfer of technology, needed by the developing country Parties to meet the agreed full incremental costs of advancing the implementation of existing commitments under Article 4, paragraph 1, of the Convention that are covered by Article 10 and that are agreed between a developing country Party and the international entity or entities referred to in Article 11 of the Convention, in accordance with that Article. The implementation of these existing commitments shall take into account the need for adequacy and predictability in the flow of funds and the importance of appropriate burden sharing among developed country Parties. The guidance to the entity or entities entrusted with the operation of the financial mechanism of the Convention in relevant decisions of the Conference of the Parties, including those agreed before the adoption of this Protocol, shall apply *mutatis mutandis* to the provisions of this paragraph.

3. The developed country Parties and other developed Parties in Annex II to the Convention may also provide, and developing country Parties avail themselves of, financial resources for the implementation of Article 10, through bilateral, regional and other multilateral channels.

ARTICLE 12

1. A clean development mechanism is hereby defined.

2. The purpose of the clean development mechanism shall be to assist Parties not included in Annex I in achieving sustainable development and in contributing to the ultimate objective of the Convention, and to assist Parties included in Annex I in achieving compliance with their quantified emission limitation and reduction commitments under Article 3.

3. Under the clean development mechanism:

- (a) Parties not included in Annex I will benefit from project activities resulting in certified emission reductions; and
- (b) Parties included in Annex I may use the certified emission reductions accruing from such project activities to contribute to compliance with part of their quantified emission limitation and reduction commitments under Article 3, as determined by the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol.

4. The clean development mechanism shall be subject to the authority and guidance of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol and be supervised by an executive board of the clean development mechanism.

5. Emission reductions resulting from each project activity shall be certified by operational entities to be designated by the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol, on the basis of:

- (a) Voluntary participation approved by each Party involved;
- (b) Real, measurable, and long-term benefits related to the mitigation of climate change; and
- (c) Reductions in emissions that are additional to any that would occur in the absence of the certified project activity.

6. The clean development mechanism shall assist in arranging funding of certified project activities as necessary.

7. The Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol shall, at its first session, elaborate modalities and procedures with the objective of ensuring transparency, efficiency and accountability through independent auditing and verification of project activities.

8. The Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol shall ensure that a share of the proceeds from certified project activities is used to cover administrative expenses as well as to assist developing country Parties that are particularly vulnerable to the adverse effects of climate change to meet the costs of adaptation.

9. Participation under the clean development mechanism, including in activities mentioned in paragraph 3(a) above and in the acquisition of certified emission reductions, may involve private and/or pub-

lic entities, and is to be subject to whatever guidance may be provided by the executive board of the clean development mechanism.

10. Certified emission reductions obtained during the period from the year 2000 up to the beginning of the first commitment period can be used to assist in achieving compliance in the first commitment period.

ARTICLE 13

1. The Conference of the Parties, the supreme body of the Convention, shall serve as the meeting of the Parties to this Protocol.

2. Parties to the Convention that are not Parties to this Protocol may participate as observers in the proceedings of any session of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol. When the Conference of the Parties serves as the meeting of the Parties to this Protocol, decisions under this Protocol shall be taken only by those that are Parties to this Protocol.

3. When the Conference of the Parties serves as the meeting of the Parties to this Protocol, any member of the Bureau of the Conference of the Parties representing a Party to the Convention but, at that time, not a Party to this Protocol, shall be replaced by an additional member to be elected by and from amongst the Parties to this Protocol.

4. The Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol shall keep under regular review the implementation of this Protocol and shall make, within its mandate, the decisions necessary to promote its effective implementation. It shall perform the functions assigned to it by this Protocol and shall:

- (a) Assess, on the basis of all information made available to it in accordance with the provisions of this Protocol, the implementation of this Protocol by the Parties, the overall effects of the measures taken pursuant to this Protocol, in particular environmental, economic and social effects as well as their cumulative impacts and the extent to which progress towards the objective of the Convention is being achieved;
- (b) Periodically examine the obligations of the Parties under this Protocol, giving due consideration to any reviews required by Article 4, paragraph 2(d), and Article 7, paragraph 2, of the Convention, in the light of the objective of the Convention, the experience gained in its implementation and the evolution of scientific and technological knowledge, and in this respect consider and adopt regular reports on the implementation of this Protocol;
- (c) Promote and facilitate the exchange of infor-

mation on measures adopted by the Parties to address climate change and its effects, taking into account the differing circumstances, responsibilities and capabilities of the Parties and their respective commitments under this Protocol;

- (d) Facilitate, at the request of two or more Parties, the coordination of measures adopted by them to address climate change and its effects, taking into account the differing circumstances, responsibilities and capabilities of the Parties and their respective commitments under this Protocol;
- (e) Promote and guide, in accordance with the objective of the Convention and the provisions of this Protocol, and taking fully into account the relevant decisions by the Conference of the Parties, the development and periodic refinement of comparable methodologies for the effective implementation of this Protocol, to be agreed on by the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol;
- (f) Make recommendations on any matters necessary for the implementation of this Protocol;
- (g) Seek to mobilize additional financial resources in accordance with Article 11, paragraph 2;
- (h) Establish such subsidiary bodies as are deemed necessary for the implementation of this Protocol;
- (i) Seek and utilize, where appropriate, the services and cooperation of, and information provided by, competent international organizations and intergovernmental and non-governmental bodies; and
- (j) Exercise such other functions as may be required for the implementation of this Protocol, and consider any assignment resulting from a decision by the Conference of the Parties.

5. The rules of procedure of the Conference of the Parties and financial procedures applied under the Convention shall be applied *mutatis mutandis* under this Protocol, except as may be otherwise decided by consensus by the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol.

6. The first session of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol shall be convened by the secretariat in conjunction with the first session of the Conference of the Parties that is scheduled after the date of the entry into force of this Protocol. Subsequent ordinary sessions of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol shall be held every year and in conjunction with ordinary sessions of the Con-

ference of the Parties, unless otherwise decided by the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol.

7. Extraordinary sessions of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol shall be held at such other times as may be deemed necessary by the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol, or at the written request of any Party, provided that, within six months of the request being communicated to the Parties by the secretariat, it is supported by at least one third of the Parties.

8. The United Nations, its specialized agencies and the International Atomic Energy Agency, as well as any State member thereof or observers thereto not party to the Convention, may be represented at sessions of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol as observers. Any body or agency, whether national or international, governmental or non-governmental, which is qualified in matters covered by this Protocol and which has informed the secretariat of its wish to be represented at a session of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol as an observer, may be so admitted unless at least one third of the Parties present object. The admission and participation of observers shall be subject to the rules of procedure, as referred to in paragraph 5 above.

ARTICLE 14

1. The secretariat established by Article 8 of the Convention shall serve as the secretariat of this Protocol.

2. Article 8, paragraph 2, of the Convention on the functions of the secretariat, and Article 8, paragraph 3, of the Convention on arrangements made for the functioning of the secretariat, shall apply *mutatis mutandis* to this Protocol. The secretariat shall, in addition, exercise the functions assigned to it under this Protocol.

ARTICLE 15

1. The Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice and the Subsidiary Body for Implementation established by Articles 9 and 10 of the Convention shall serve as, respectively, the Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice and the Subsidiary Body for Implementation of this Protocol. The provisions relating to the functioning of these two bodies under the Convention shall apply *mutatis mutandis* to this Protocol. Sessions of the meetings of the Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice and the Subsidiary Body for Implementation of this Protocol shall be held in conjunction with the meetings of, respectively, the Sub-

siary Body for Scientific and Technological Advice and the Subsidiary Body for Implementation of the Convention.

2. Parties to the Convention that are not Parties to this Protocol may participate as observers in the proceedings of any session of the subsidiary bodies. When the subsidiary bodies serve as the subsidiary bodies of this Protocol, decisions under this Protocol shall be taken only by those that are Parties to this Protocol.

3. When the subsidiary bodies established by Articles 9 and 10 of the Convention exercise their functions with regard to matters concerning this Protocol, any member of the Bureaux of those subsidiary bodies representing a Party to the Convention but, at that time, not a party to this Protocol, shall be replaced by an additional member to be elected by and from amongst the Parties to this Protocol.

ARTICLE 16

The Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol shall, as soon as practicable, consider the application to this Protocol of, and modify as appropriate, the multilateral consultative process referred to in Article 13 of the Convention, in the light of any relevant decisions that may be taken by the Conference of the Parties. Any multilateral consultative process that may be applied to this Protocol shall operate without prejudice to the procedures and mechanisms established in accordance with Article 18.

ARTICLE 17

The Conference of the Parties shall define the relevant principles, modalities, rules and guidelines, in particular for verification, reporting and accountability for emissions trading. The Parties included in Annex B may participate in emissions trading for the purposes of fulfilling their commitments under Article 3. Any such trading shall be supplemental to domestic actions for the purpose of meeting quantified emission limitation and reduction commitments under that Article.

ARTICLE 18

The Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol shall, at its first session, approve appropriate and effective procedures and mechanisms to determine and to address cases of non-compliance with the provisions of this Protocol, including through the development of an indicative list of consequences, taking into account the cause, type, degree and frequency of non-compliance. Any procedures and mechanisms under this Article entailing binding consequences shall be adopted by means of an amendment to this Protocol.

ARTICLE 19

The provisions of Article 14 of the Convention on settlement of disputes shall apply *mutatis mutandis* to this Protocol.

ARTICLE 20

1. Any Party may propose amendments to this Protocol.

2. Amendments to this Protocol shall be adopted at an ordinary session of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol. The text of any proposed amendment to this Protocol shall be communicated to the Parties by the secretariat at least six months before the meeting at which it is proposed for adoption. The secretariat shall also communicate the text of any proposed amendments to the Parties and signatories to the Convention and, for information, to the Depositary.

3. The Parties shall make every effort to reach agreement on any proposed amendment to this Protocol by consensus. If all efforts at consensus have been exhausted, and no agreement reached, the amendment shall as a last resort be adopted by a three-fourths majority vote of the Parties present and voting at the meeting. The adopted amendment shall be communicated by the secretariat to the Depositary, who shall circulate it to all Parties for their acceptance.

4. Instruments of acceptance in respect of an amendment shall be deposited with the Depositary. An amendment adopted in accordance with paragraph 3 above shall enter into force for those Parties having accepted it on the ninetieth day after the date of receipt by the Depositary of an instrument of acceptance by at least three fourths of the Parties to this Protocol.

5. The amendment shall enter into force for any other Party on the ninetieth day after the date on which that Party deposits with the Depositary its instrument of acceptance of the said amendment.

ARTICLE 21

1. Annexes to this Protocol shall form an integral part thereof and, unless otherwise expressly provided, a reference to this Protocol constitutes at the same time a reference to any annexes thereto. Any annexes adopted after the entry into force of this Protocol shall be restricted to lists, forms and any other material of a descriptive nature that is of a scientific, technical, procedural or administrative character.

2. Any Party may make proposals for an annex to this Protocol and may propose amendments to annexes to this Protocol.

3. Annexes to this Protocol and amendments to annexes to this Protocol shall be adopted at an ordi-

nary session of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol. The text of any proposed annex or amendment to an annex shall be communicated to the Parties by the secretariat at least six months before the meeting at which it is proposed for adoption. The secretariat shall also communicate the text of any proposed annex or amendment to an annex to the Parties and signatories to the Convention and, for information, to the Depositary.

4. The Parties shall make every effort to reach agreement on any proposed annex or amendment to an annex by consensus. If all efforts at consensus have been exhausted, and no agreement reached, the annex or amendment to an annex shall as a last resort be adopted by a three-fourths majority vote of the Parties present and voting at the meeting. The adopted annex or amendment to an annex shall be communicated by the secretariat to the Depositary, who shall circulate it to all Parties for their acceptance.

5. An annex, or amendment to an annex other than Annex A or B, that has been adopted in accordance with paragraphs 3 and 4 above shall enter into force for all Parties to this Protocol six months after the date of the communication by the Depositary to such Parties of the adoption of the annex or adoption of the amendment to the annex, except for those Parties that have notified the Depositary, in writing, within that period of their non-acceptance of the annex or amendment to the annex. The annex or amendment to an annex shall enter into force for Parties which withdraw their notification of non-acceptance on the ninetieth day after the date on which withdrawal of such notification has been received by the Depositary.

6. If the adoption of an annex or an amendment to an annex involves an amendment to this Protocol, that annex or amendment to an annex shall not enter into force until such time as the amendment to this Protocol enters into force.

7. Amendments to Annexes A and B to this Protocol shall be adopted and enter into force in accordance with the procedure set out in Article 20, provided that any amendment to Annex B shall be adopted only with the written consent of the Party concerned.

ARTICLE 22

1. Each Party shall have one vote, except as provided for in paragraph 2 below.

2. Regional economic integration organizations, in matters within their competence, shall exercise their right to vote with a number of votes equal to the number of their member States that are Parties to this Protocol. Such an organization shall not exercise

its right to vote if any of its member States exercises its right, and vice versa.

ARTICLE 23

The Secretary-General of the United Nations shall be the Depositary of this Protocol.

ARTICLE 24

1. This Protocol shall be open for signature and subject to ratification, acceptance or approval by States and regional economic integration organizations which are Parties to the Convention. It shall be open for signature at United Nations Headquarters in New York from 16 March 1998 to 15 March 1999. This Protocol shall be open for accession from the day after the date on which it is closed for signature. Instruments of ratification, acceptance, approval or accession shall be deposited with the Depositary.

2. Any regional economic integration organization which becomes a Party to this Protocol without any of its member States being a Party shall be bound by all the obligations under this Protocol. In the case of such organizations, one or more of whose member States is a Party to this Protocol, the organization and its member States shall decide on their respective responsibilities for the performance of their obligations under this Protocol. In such cases, the organization and the member States shall not be entitled to exercise rights under this Protocol concurrently.

3. In their instruments of ratification, acceptance, approval or accession, regional economic integration organizations shall declare the extent of their competence with respect to the matters governed by this Protocol. These organizations shall also inform the Depositary, who shall in turn inform the Parties, of any substantial modification in the extent of their competence.

ARTICLE 25

1. This Protocol shall enter into force on the ninetieth day after the date on which not less than 55 Parties to the Convention, incorporating Parties included in Annex I which accounted in total for at least 55 per cent of the total carbon dioxide emissions for 1990 of the Parties included in Annex I, have deposited their instruments of ratification, acceptance, approval or accession.

2. For the purposes of this Article, „the total carbon dioxide emissions for 1990 of the Parties included in Annex I“ means the amount communicated on or before the date of adoption of this Protocol by the Parties included in Annex I in their first national communications submitted in accordance with Article 12 of the Convention.

3. For each State or regional economic integration organization that ratifies, accepts or approves this

Protocol or accedes thereto after the conditions set out in paragraph 1 above for entry into force have been fulfilled, this Protocol shall enter into force on the ninetieth day following the date of deposit of its instrument of ratification, acceptance, approval or accession.

4. For the purposes of this Article, any instrument deposited by a regional economic integration organization shall not be counted as additional to those deposited by States members of the organization.

ARTICLE 26

No reservations may be made to this Protocol.

ARTICLE 27

1. At any time after three years from the date on which this Protocol has entered into force for a Party, that Party may withdraw from this Protocol by giving written notification to the Depositary.

2. Any such withdrawal shall take effect upon expiry of one year from the date of receipt by the Depositary of the notification of withdrawal, or on such later date as may be specified in the notification of withdrawal.

3. Any Party that withdraws from the Convention shall be considered as also having withdrawn from this Protocol.

ARTICLE 28

The original of this Protocol, of which the Arabic, Chinese, English, French, Russian and Spanish texts are equally authentic, shall be deposited with the Secretary-General of the United Nations.

DONE at Kyoto this eleventh day of December one thousand nine hundred and ninety-seven.

IN WITNESS WHEREOF the undersigned, being duly authorized to that effect, have affixed their signatures to this Protocol on the dates indicated.

Annex A**Greenhouse gases**Carbon dioxide (CO₂)Methane (CH₄)Nitrous oxide (N₂O)

Hydrofluorocarbons (HFCs)

Perfluorocarbons (PFCs)

Sulphur hexafluoride (SF₆)**Sectors/source categories**

Energy

Fuel combustion

Energy industries

Manufacturing industries and construction

Transport Other sectors

Other

Fugitive emissions from fuels

Solid fuels

Oil and natural gas

Other

Industrial processes

Mineral products

Chemical industry

Metal production

Other production

Production of halocarbons and sulphur

hexafluoride

Consumption of halocarbons and sulphur

hexafluoride

Other

Solvent and other product use

Agriculture

Enteric fermentation

Manure management

Rice cultivation

Agricultural soils

Prescribed burning of savannas

Field burning of agricultural residues

Other

Waste

Solid waste disposal on land

Wastewater handling

Waste incineration

Other

Annex B

Party

Quantified emission
limitation or reduction
commitment (percent-
age of base year or
period)

Australia	108
Austria	92
Belgium	92
Bulgaria*	92
Canada	94
Croatia*	95
Czech Republic*	92
Denmark	92
Estonia*	92
European Union	92
Finland	92
France	92
Germany	92
Greece	92
Hungary*	94
Iceland	110
Ireland	92
Italy	92
Japan	94
Latvia*	92
Liechtenstein	92
Lithuania*	92
Luxembourg	92
Monaco	92
Netherlands	92
New Zealand	100
Norway	101
Poland*	94
Portugal	92
Romania*	92
Russian Federation*	100
Slovakia*	92
Slovenia*	92
Spain	92
Sweden	92
Switzerland	92
Ukraine*	100
United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland	92
United States of America	93

*Countries that are undergoing the process of transition to a market economy.

12 Literatur

- Adger, W. N. und Brown, K. (1994): *Land Use and the Causes of Global Warming*. Chichester, New York: Wiley.
- Alves, D. S., Soares, J. V., Amaral, S., Mello, E. M. K., Almeida, S. A. S., Da Silva, O. F. und Silveira, A. M. (1997): Biomass of Primary and Secondary Vegetation in Rondônia, Western Brazilian Amazon. *Global Change Biology* 3, 451–461.
- Armentano, T. V. (1980): Drainage of organic soils as a factor in the world carbon cycle. *BioScience* 30, 825–830.
- Armentano, T. V. und Menges, E. S. (1986): Patterns of change in the carbon balance of organic soil wetlands of the temperate zone. *Journal of Ecology* 74, 755–774.
- Arrouays, D., Mariotti, J. und Girardin, C. (1995): Modelling organic carbon turnover in cleared temperate forest soils converted to maize cropping by using ¹³C natural abundance measurements. *Plant and Soil* 173, 191–196.
- Aselman, I. und Crutzen, P. J. (1989): Global distribution of natural freshwater wetlands and rice paddies, their net primary productivity, seasonality and possible methane emissions. *Journal of Atmospheric Chemistry* 8, 307–358.
- Asner, G. P., Seastedt, T. R. und Townsend, A. R. (1997): The Decoupling of Terrestrial Carbon and Nitrogen Cycles. *Bioscience* 47 (4), 226–234.
- Atjay, G. L., Ketner, P. und Duvigneaud, P. (1979): Terrestrial Primary Production and Phytomass. In: Bolin, B., Degens, E. T., Kempe, S. und Ketner, P. (Hrsg.): *The Global Carbon Cycle*. SCOPE 13. Chichester, New York: Wiley, 129–182.
- Attiwill, P. M. (1994): Ecological Disturbances and the Conservative Management of Eucalypt Forests in Australia. *Forest Ecology and Management* 63, 301–346.
- Baldocchi, D., Berry, J., Canadell, P., Ehleringer, J., Field, C., Gower, T., Hollinger, D., Hunt, J., Jackson, R., Mooney, H., Shaver, G., Trumbore, S., Valentini, R. und Yoder, B. (1998): Carbon Metabolism in the Terrestrial Biosphere. *Bioscience* (eingereicht).
- Bartlett, K. B. und Harris, R. C. (1993): Review and assessment of methane emissions from wetlands. *Chemosphere* 26, 261–320.
- Batjes, N. H. und Bridges, E. M. (1992): World inventory of soil emissions. Draft background paper for discussion. Wageningen: International Soil Reference and Information Centre (ISRIC).
- Batjes, N. H. und Sombroek, W. G. (1997): Possibilities for carbon sequestration in tropical and subtropical soils. *Global Change Biology* 3, 161–173.
- Berg, B. und Matzner, E. (1997): Effect of N Deposition on Decomposition of Plant Litter and Soil Organic Matter in Forest Systems. *Environmental Review* 5, 1–25.
- Black, T. A. und Harden, J. W. (1995): Effect of Timber Harvest on Soil Carbon Storage at Blodgett Experimental Forest, California. *Canadian Journal of Forest Research* 25, 1385–1396.
- BML – Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1997a): *Tropenwaldbericht der Bundesregierung*. 5. Bericht. Bonn: BML.
- BML – Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1997b): *Deutscher Waldbodenbericht*. Band 2. Bonn: BML.
- Bolin, B. (1998): The Kyoto Negotiations on Climate Change: A Science Perspective. *Science* 279, 330–331.
- Boone, R. D., Sollins, P. und Cromack, K. J. (1988): Stand and Soil Changes along a Mountain Hemlock Death and Regrowth Sequence. *Ecology* 69 (3), 714–722.
- Bouwman, A. F. (1990): Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. In: Bouwman, A. F. (Hrsg.): *Soils and the greenhouse effect*. Proceedings of the international conference „Soils and the Greenhouse Effect“. Chichester, New York: Wiley.
- Bouwman, A. F. und Leemans, R. (1995): The role of forest soils in the global carbon cycle. In: McFee, W. und

- Kelly, J. M. (Hrsg.): Carbon forms and functions in forest soils. Madison: Soil Science Society of America, 503–525.
- Breymer, A. I., Berg, B., Gower, S. T. und Johnson, D. (1996): Carbon Budget: Temperate Coniferous Forests. In: Breymer, A. I., Hall, D. O., Melillo, J. M., und Ågren, G. I. (Hrsg.): Global Change: Effects on Coniferous Forests and Grasslands. Scope 56. Chichester, New York: Wiley, 41–67.
- Brown, S. (1996): Management of forests for mitigation of greenhouse gas emissions. In: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Hrsg.): Climate Change 1995 - Impacts, adaptations and mitigation of climate change: Scientific-technical analyses. Contribution of working group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 774–797.
- Brown, S. und Lugo, A. E. (1980): Preliminary Estimate of the Storage of Organic Carbon in Tropical Forest Ecosystems. In: Lugo, A. E., Brown, S. und Liegel, B. (Hrsg.): The Role of Tropical Forests on the World Carbon Cycle. Washington, DC: United States Department of Energy, Office of Environment, 65–117.
- Brown, S. und Lugo, A. E. (1990): Effects of forest clearing and succession on the carbon and nitrogen content of soils in Puerto Rico and Virgin Islands. *Plant and Soil* 124, 53–64.
- Bruenig, E. F. (1990): Oligotrophic wetlands in Borneo. In: Lugo, A. E., Brinson, M. und Brown, S. (Hrsg.): Ecosystems of the world. Band 15. Forested Wetlands. Amsterdam: Elsevier, 299–334.
- Buchmann, N. und Schulze, E.-D. (1998): Net CO₂ and H₂O fluxes of terrestrial ecosystems. *Global Biogeochemical Cycles* (eingereicht).
- Burschel, P., Kürsten, E. und Larson, B. C. (1993): Die Rolle von Wald und Forstwirtschaft im Kohlenstoffhaushalt - Eine Betrachtung für die Bundesrepublik Deutschland. München: Forstwissenschaftliche Fakultät der Universität München und Bayerische Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt.
- Busch, G. und Mund, M. (1998): Degradierete Böden und ihr Potential der Kohlenstoffspeicherung durch Aufforstungsmaßnahmen (in Vorbereitung).
- Cannell, M. G. R., Dewar, R. C. und Thornley, J. H. M. (1992): Carbon Flux and Storage in European Forests. In: Teller, A., Mathy, P. und Jeffers, J. N. R. (Hrsg.): Responses of Forest Ecosystems to Environmental Changes. Amsterdam: Elsevier, 256–271.
- Ciais, P., Tans, P. P., Trolier, M., White, J. W. C. und Francey, R. J. (1995): A Large Northern Hemisphere Terrestrial CO₂ Sink Indicated by the ¹³C/¹²C Ratio of Atmospheric CO₂. *Science* 269, 1098–1102.
- Cohen, W. B., Harmon, M. E., Wallin, D. O. und Fiorella, M. (1996): Two Decades of Carbon Flux from Forests of the Pacific Northwest. *Bioscience* 46 (11), 836–844.
- Cole, C. V., Flach, K., Lee, J., Sauerbeck, D. und Stewart, B. (1993): Agricultural sources and sinks of carbon. *Water, Air and Soil Pollution* 70, 111–122.
- Cooper, C. F. (1983): Carbon Storage in Managed Forests. *Canadian Journal of Forest Research* 13, 155–166.
- Covington, W. W. (1981): Changes in Forest Floor Organic Matter and Nutrient Content Following Clear Cutting in Northern Hardwood. *Ecology* 62, 41–48.
- Crill, P., Bartlett, K. B. und Roulet, N. (1993): Methane flux from boreal peatlands. *Suo* 43, 173–182.
- Crutzen, P. J. und Andreae, M. O. (1990): Biomass Burning in the Tropics: Impact on Atmospheric Chemistry and Biogeochemical Cycles. *Science* 250, 1669–1678.
- Davidson, E. A. und Ackermann, I. L. (1993): Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. *Biogeochemistry* 20, 161–193.
- de Moraes, J. F. L., Volkoff, B., Cerri, C. C. und Bernoux, M. (1996): Soil Properties Under Amazon Forest and Changes due to Pasture Installation in Rondônia, Brazil. *Geoderma* 70, 63–81.
- Detwiler, R. P. (1986): Land use change and the global carbon cycle: the role of tropical soils. *Biogeochemistry* 2, 67–93.
- Dewar, R. C. (1991): Analytical Model of Carbon Storage in the Trees, Soils, and Wood Products of Managed Forests. *Tree Physiology* 8, 239–258.
- Dewar, R. C. und Cannell, M. G. R. (1992): Carbon Sequestration in the Trees, Products and Soils of Forest Plantations: an Analysis Using UK Examples. *Tree Physiology* 11, 49–71.
- Dixon, R. K., Brown, S., Houghton, R. A., Solomon, A. M., Trexler, M. C. und Wisniewski, J. (1994): Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. *Science* 263, 185–190.
- EC – European Commission Directorate General for Science Research and Development (Hrsg.) (1997): Greenhouse Gases and Their Role in Climate Change: The Status of Research in Europe. Terrestrial Ecosystems: Session Summary. International Workshop des European Commission Directorate General for Science Research and Development 10–13 November 1997, Orvieto, Italy.

- Esser, G. (1994): Eingriffe der Landwirtschaft in den Kohlenstoffkreislauf. In: Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“, des Deutschen Bundestages (Hrsg.): Landwirtschaft. Studienprogramm. Band 1. Bonn: Economica.
- Eswaran, H., van den Berg, E. und Reich, P. (1993): Organic C in soils of the world. *Soil Science Society of America* 57, 192–194.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (1981): Tropical Forest Assessment Project. Forest Resources of Tropical Asia. Rome: FAO.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (1993): Forest Resources Assessment 1990: Tropical Countries. FAO Forestry Paper 112. Rome: FAO.
- Fearnside, P. M. (1996): Amazonian Deforestation and Global Warming: Carbon Stocks in Vegetation Replacing Brazil's Amazon Forest. *Forest Ecology and Management* 80, 21–34.
- Federer, C. A. (1984): Organic Matter and Nitrogen Content of the Forest Floor in Even-aged Northern Hardwoods. *Canadian Journal of Forest Research* 14, 763–767.
- Fischlin, A. (1996): Conflicting Objectives while Maximizing Carbon Sequestration by Forests. In: Apps, M. J. und Price, D. T. (Hrsg.): Forest Ecosystems, Forest Management and the Global Carbon Cycle. Band 40. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 163–172.
- Fisher, M. J., Rao, I. M., Ayarza, M. A., Lascano, C. E., Sanz, J. I., Thomas, R. J. und Vera, R. R. (1994): Carbon Storage by Introduced Deep-rooted Grasses in the South American Savannas. *Nature* 371, 236–238.
- Flessa, H., Beese, F., Brumme, R., Przemek, E., Priesack, E., Ruser, R., Teepe, R., Schmädecke, F., Haberbosch, C., Stenger, R., Lickfett, T. und Schilling, R. (1998): Freisetzung und Verbrauch der klimarelevanten Spurengase N₂O und CH₄ beim Anbau nachwachsender Rohstoffe. Abschlußbericht zum Verbundprojekt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt. Osnabrück: Deutsche Bundesstiftung Umwelt.
- Fölster, H. (1989): Schriftliche Stellungnahme zum Thema „Schutz der tropischen Wälder“. In: EK-Drucksache 11/61. Bonn: EK, 70–92.
- Franz, F., Röhle, H. und Meyer, F. (1993): Wachstumsgang und Ertragsleistung der Buche. *Allgemeine Forst Zeitung* 6, 262–267.
- Frolking, S. (1997): Sensitivity of Spruce/Moss Boreal Forest Net Ecosystem Productivity to Seasonal Anomalies in Weather. *Journal of Geophysical Research* 102 (D24), 29,053–29,064.
- Fuentes, U., Mund, M. und Busch, G. (1998): Anrechnung biologischer Quellen und Senken im Kyoto-Protokoll: Risiko für den globalen Umweltschutz. Unveröffentlichtes Manuskript.
- Gaston, G., Brown, S., Lorenzini, M. und Singh, K. D. (1998): State and Change in Carbon Pools in the Forests of Tropical Africa. *Global Change Biology* 4, 97–114.
- Gorham, E. (1991): Northern peatlands: Role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. *Ecological Applications* 1, 182–195.
- Gosz, J. R., Likens, G. E. und Bormann, F. H. (1976): Organic Matter and Nutrient Dynamics of the Forest and Forest Floor in the Hubbard Brook Forest. *Oecologia* 22, 305–320.
- Grigal, D. F. und Ohmann, L. F. (1992): Carbon Storage in Upland Forests of the Lake States. *Soil Science Society of America Journal* 56, 935–943.
- Harmon, M. E. und Chen Hua, C. (1991): Coarse Woody Debris Dynamics in Two Old-growth Ecosystems. *Bioscience* 41(9), 604–610.
- Harmon, M. E., Ferrell, W. K. und Franklin, J. F. (1990): Effects on Carbon Storage of Conversion of Old-growth Forests to Young Forests. *Science* 247, 699–702.
- Heimann, M., Weber, C., Duinker, J. C., Körtzinger, A., Mintrop, L., Buchmann, N., Schulze, E.-D., Hein, M., Bondeau, A., Cramer, W., Lindner, M. und Esser, G. (1997): Natürliche Senken und Quellen des atmosphärischen Kohlendioxids: Stand des Wissens und Optionen des Handelns. Studie im Auftrag des BMBF. Unveröffentlichtes Manuskript.
- Hensen, A., van den Bulk, W. C. M., Vermeulen, A. T. und Wyers, G. P. (1997): CO₂ Exchange Between Grassland and the Atmosphere. Netherlands Energy Research Foundation ECN.
- Hofmann, G., Heinsdorf, D. und Krauß, H.-H. (1990): Wirkung atmosphärischer Stickstoffeinträge auf Produktivität und Stabilität von Kiefern-Forstökosystemen. *Beiträge für die Forstwirtschaft* 24, 59–73.
- Holland, E. A., Braswell, B. H., Lamarque, J.-F., Townsend, A., Sulzman, J., Müller, J.-F., Dentener, F., Brasseur, G., Levy II, H., Penner, J. E. und Roelofs, G.-J. (1997): Variations in the Predicted Spatial Distribution of Atmospheric Nitrogen Deposition and their Impact on Carbon Uptake by Terrestrial Ecosystems. *Journal of Geophysical Research* 102 (D13), 15849–15866.
- Houghton, R. A. (1991): Changes in the landscape of latin America between 1850 and 1985: II. Net release of CO₂ to the atmosphere. *Forest Ecology and Management* 38, 173–199.

- Houghton, R. A. (1995): Changes in the storage of terrestrial carbon since 1850. In: Lal, R., Kimble, J., Levine, E., Stewart, B. A. (Hrsg.): *Soils and Global Change*. Boca Raton: CRC Press, 45–65.
- Houghton, R. A., Hobbie, J. E., Melillo, J. M. und Moore, B. (1983): Changes in the Carbon Content of Terrestrial Biota and Soils between 1860 and 1980: A Net Release of CO₂ to the Atmosphere. *Ecological Monographs* 53 (3), 235–262.
- IGBP – International Geosphere Biosphere Programme. Terrestrial Carbon Working Group (1998): *The Terrestrial Carbon Cycle: Implications for the Kyoto Protocol*. *Science* 280, 1393–1394.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (1990): *Climate Change - The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (1996a): *Climate Change 1995 - The Science of Climate. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (1996b): *Climate Change 1995 - Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-technical Analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (1997): *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. London: Hadley Centre.
- Jackson, R. B., Canadell, J., Ehleringer, J. R., Mooney, H. A., Sala, O. E. und Schulze, E. D. (1996): A Global Analysis of Root Distributions for Terrestrial Biomes. *Oecologia* 108 (3), 389–411.
- Jarvis, P. G., Massheder, J. M., Hale, S. E., Moncrieff, J. B., Rayment, M. und Scott, S. L. (1997): Seasonal Variation of Carbon-dioxide, Water-vapor, and Energy Exchanges of a Boreal Black Spruce Forest. *Journal of Geophysical Research - Atmospheres* 102, 28953–28966.
- Johnson, D. W. (1992): Effects of Forest Management on Soil Carbon Storage. *Water, Air, and Soil Pollution* 64, 83–120.
- Jurgensen, M. F., Harvey, A. E., Graham, R. T., Page-Dumroese, D. S., Tonn, J. R., Larsen, M. J. und Jain, T. B. (1997): Impacts of Timber Harvesting on Soil Organic Matter, Nitrogen, Productivity, and Health of Inland Northwest Forests. *Forest Science* 43 (2), 234–251.
- Karjalainen, T. (1996): Dynamics and Potential of Carbon Sequestration in Managed Stands and Wood Products in Finland under Changing Climatic Conditions. *Forest Ecology and Management* 80, 113–132.
- Kasimir-Klemedtsson, E., Klemedtsson, L., Berglund, K., Martikainen, P., Silvola, J. und Oenema, O. (1997): Greenhouse gas emissions from farmed organic soils, a review. *Soil Use and Management* 13, 245–250.
- Keeling, R. F., Piper, S. und Heimann, M. (1996): Global and Hemispheric CO₂ Sinks Deduced from Recent Atmospheric Oxygen Measurements. *Nature* 381, 218–221.
- Kim, J., Verma, S. B. und Clement, R. J. (1992): Carbon Dioxide Budget in a Temperate Grassland Ecosystem. *Journal of Geophysical Research* 97, 6057–6063.
- Klein Goldewijk, C. G. M. und Vloedbeld, M. (1995): The exchange of carbon dioxide between the atmosphere and the terrestrial biosphere in Latin America. In: Lal, R., Kimble, J., Levine, E. und Stewart, B. A. (Hrsg.): *Soils and Global Change*. Boca Raton: CRC Press, 395–413.
- Körner, C., Schilcher, B. und Pelaez-Riedl, S. (1993): Vegetation und Treibhausproblematik: Eine Beurteilung der Situation in Österreich unter besonderer Berücksichtigung der Kohlenstoff-Bilanz. In: Österreichische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): *Anthropogene Klimaänderungen: Mögliche Auswirkungen auf Österreich - mögliche Maßnahmen in Österreich*. Wien: Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, 6.1–6.46.
- Korovin, G. N. (1996): Analysis of the Distribution of Forest Fires in Russia. In: Goldammer, J. G. und Furyaev, V. V. (Hrsg.): *Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia*. Dordrecht: Kluwer, 112–128.
- Krankina, O. N. und Harmon, M. E. (1995): Dynamics of the Dead Wood Carbon Pool in Northwestern Russian Boreal Forests. *Water, Air, and Soil Pollution* 82, 227–238.
- Kuhlbusch, T. A. (1994): *Schwarzer Kohlenstoff aus Vegetationsbränden: eine Bestimmungsmethode und mögliche Auswirkungen auf den globalen Kohlenstoffzyklus*. Dissertation. Johannes-Gutenberg-Universität Mainz.
- Kurz, W. A. und Apps, M. (1996): Retrospective Assessment of Carbon Flows in Canadian Boreal Forests. In: Apps, M. J. und Price, D. T. (Hrsg.): *Forest Ecosystems, Forest Management and the Global Carbon Cycle*. Band 40. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 173–182.

- Kyoto-Protokoll (1997): Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. FCCC/CP/1997/7/Add.1, Decision 1/CP.3, Annex, 7.
- Laine, J., Silvola, J., Minkkinen, K., Sinisalo, J. Savolainen, I. und Martikainen, P. J. (1996): Effect of water level drawdown on global climate warming: Northern peatlands. *Ambio* 25, 179–184.
- Lal, R. und Logan, T. J. (1995): Agricultural activities and greenhouse gas emissions from soils of the tropics. In: Lal, R., Kimble, J., Levine, E. und Stewart, B. A. (Hrsg.): *Soils and Global Change*. Boca Raton: CRC Press, 293–307.
- Lal, R., Kimble, J. und Follett, R. (1998): Land use and soil C pools in terrestrial ecosystems. In: Lal, R., Kimble, J., Follett, R. und Stewart, B. A. (Hrsg.): *Management of carbon sequestration in soil*. Boca Raton: CRC Press, 1–10.
- Landmann, G. und Bonneau, M. (Hrsg.) (1995): *Forest Decline and Atmospheric Deposition Effects in the French Mountains*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Larcher, W. (1994): *Ökophysiologie der Pflanzen*. Stuttgart: Eugen.
- Liski, J. und Westman, C. J. (1995): Density of Organic Carbon in Soil at Coniferous Forest Sites in Southern Finland. *Biogeochemistry* 29, 183–197.
- Liski, J. und Westman, C. J. (1997): Carbon Storage in Forest Soil of Finland. Size and regional patterns. *Biogeochemistry* 36, 261–274.
- Lloyd, J. und Taylor, J. A. (1994): On the Temperature Dependence of Soil Respiration. *Functional Ecology* 8, 315–323.
- Lugo, A. E., Brown, S. und Brinson, M. (1990): Concepts in Wetland Ecology. In: Lugo, A. E., Brinson, M. und Brown, S. (Hrsg.): *Ecosystems of the World: Forested Wetlands*. Band 15. Amsterdam: Elsevier, 53–85.
- Maltby, E. und Immirzy, C. P. (1993): Carbon dynamics in peatlands and other wetland soils: regional and global perspectives. *Chemosphere* 27, 999–1023.
- Maltby, E. und Turner, R. K. (1983): Wetlands of the world. *Geographical Magazine* 55, 12–17.
- Mann, L. K. (1986): Changes in soil carbon storage after cultivation. *Soil Science* 142, 279–288.
- Matson, P. A., Parton, W. J., Power, W. J. und Swift, M. J. (1997): Agricultural Intensification and Ecosystem Properties. *Science* 277, 504–508.
- Matthews, E. (1983): Global Vegetation and Land-use: New High-Resolution Databases for Climate Studies. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 22, 474–487.
- Matthews, E. und Fung, I. (1987): Methane emissions from natural wetlands: global distribution, area, and environmental characteristics of sources. *Global Biogeochemical Cycles* 1, 61–86.
- Matzner, E. (1989): Acid Precipitation: Case Study Solling. In: Adriano, D. C. und Havas, M. (Hrsg.): *Acid Precipitation: Case Studies*. Band 1. *Advances in Environmental Science*. New York, Berlin, Heidelberg: Springer, 39–83.
- Miranda, A. C., Miranda, H. S., Lloyd, J., Grace, J., McIntyre, J. A., Meir, P., Riggan, P., Lockwood, R. und Brass, J. (1996): Carbon Dioxide Fluxes over a Cerrado Sensitive in Central Brazil. In: Gash, J. H. C., Nobre, C. A., Roberts, J. M. und Victoria, R. L. (Hrsg.): *Amazonian Deforestation and Climate*. New York: Wiley, 353–363.
- Mitsch, W. J. und Wu, X. (1995): Wetlands and Global Change. In: Lal, W., Kimble, J., Levine, E. und Stewart, B. E. (Hrsg.): *Soil management and greenhouse effect*. Boca Raton: CRC Press, 205–230.
- Mooney, H. A., Canadell, J., Chapin, F. S., Ehleringer, J., Körner, C., McMurtrie, R., Parton, W. J., Pitelka, L. und Schulze, E.-D. (1998): *Ecosystem Physiology Responses to Global Change*. In: Walker, B., Steffen, W., Canadell, J., und Ingram, J. (Hrsg.): *The Terrestrial Biosphere and Global Change*. Cambridge: Cambridge University Press (im Druck).
- Moore, T. R. (1996): The Carbon Budget of Boreal Forests: Reducing the Uncertainty. In: Breymeyer, A. I., Hall, D. O., Melillo, J. M. und Agren, G. I. (Hrsg.): *Global Change: Effects on Coniferous Forests and Grasslands*. Scope 56. Chichester, New York: Wiley, 17–40.
- Mund, M. (1996): Wachstum und oberirdische Biomasse von Fichtenbeständen (*Picea abies* [L.] Karst.) in einer Periode anthropogener Stickstoffeinträge. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Pflanzenökologie. Universität Bayreuth. Unveröffentlichtes Manuskript.
- Mund, M. und Busch, G. (1998): Einfluß der forstlichen Nutzung auf die Kohlenstoffvorräte der organischen Auflage von Waldböden. Universität Bayreuth und Universität Göttingen (in Vorbereitung).
- Neill, C., Melillo, J. M., Steudler, P. A., Cerri, C. C., de Moraes, J. F. L., Piccolo, M. C. und Brito, M. (1997): Soil Carbon and Nitrogen Stocks Following Forest Clearing for Pasture in the Southwestern Brazilian Amazon. *Ecological Applications* 7, 1216–1225.
- Neue, H. U. (1991): Methane emissions from rice fields. Stellungnahme der Sachverständigen zu dem Fra-

- genkatalog für die öffentliche Anhörung am 25./26. November. Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“, des Deutschen Bundestages. Kommissionsdrucksache 21/1-b, 7–21.
- Neue, H. U. (1997): Fluxes of methane from rice fields and potential for mitigation. *Soil Use and Management* 13, 258–267.
- Nilsson, S. und Schopfhauser, W. (1995): The carbon-sequestration potential of a global afforestation program. *Climatic Change* 30, 267–293.
- Nykänen, H., Alm, J., Lang, J., Silvola, J. und Martikainen, P. J. (1995): Emissions of CH₄, N₂O and CO₂ from virgin fen and a fen drained for grassland in Finland. *Journal of Biogeography* 22, 351–357.
- Oldeman, L. R., Hakkeling, R. T. A. und Sombroek, W. G. (1990): World map of the status of human-induced soil degradation. An explanatory note. Wageningen: International Soil Reference and Information Centre (ISRIC).
- Oldeman, L. R. (1992): Global Extent of Soil Degradation. ISRIC Bi-Annual Report 1991–1992. Wageningen: International Soil Reference and Information Centre (ISRIC).
- Olson, J. S., Watts, J. A. und Allison, L. J. (1983): Carbon in Live Vegetation of Major World Ecosystems. Rep. DOE/NBB-0037. Washington, DC: US Department of Energy, Office Of Energy Research, Carbon Dioxide Research Division.
- Öquist, M. E. und Svensson, B. H. (1996): Non-Tidal Wetlands. In: IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.): *Climate Change 1995 - Impacts, adaptations and mitigation of climate change: Scientific-technical analyses. Contribution of working group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 217–239.
- Ovenden, L. (1990): Peat accumulation in northern wetlands. *Quaternary Research* 33, 377–386.
- Paulsen, J. (1995): Der biologische Kohlenstoffvorrat der Schweiz. Zürich: Rüegger.
- Pretzsch, H. (1996): Growth Trends of Forests in Southern Germany. In: Spiecker, H., Mielikäinen, K., Köhl, M. und Skovsgaard, J. P. (Hrsg.): *Growth Trends in European Forests*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 107–131.
- Reich, P. B. und Bolstad, P. (1997): Temperate Forest: Evergreen and Deciduous. In: Mooney, H. A., Roy, W. und Saugier, D. F. (Hrsg.): *Global Terrestrial Productivity: Past, Present and Future*. Academic Press (in Vorbereitung).
- Röhle, H. (1995): Zum Wachstum der Fichte auf Hochleistungsstandorten in Südbayern. Band 48. München: Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.
- Rothwell, R. L. (1991): Substrate environments on drained and undrained peatlands, Wally Creek experimental drainage area, Cochrane, Ontario. In: Jeglum, J. K. und Overend, R. P. (Hrsg.): *Proceedings, Symposium, 89, Peat and Peatlands*. Band I. Canadian Society for Peat and Peatlands, 103–108.
- Sakovets, V. V. und Germanova, N. I. (1992): Changes in the carbon balance of forested mires in Karelia due to drainage. *Suo* 43, 249–252.
- Saldarriaga, J. G., West, D. C. und Tharp, M. L. (1986): Forest Succession in the Upper Rio Negro of Colombia and Venezuela. Oak Ridge National Laboratory (ORNL), Environmental Sciences Division Publication No. 2694 (NTIS Pub. ORNL/TM-9712). National Technical Information Service (NTIS). Springfield, VA: US Department of Commerce.
- Sauerbeck, D. R. (1993): CO₂-emissions from agriculture: sources and mitigation potentials. *Water, Air, and Soil Pollution* 70, 381–388.
- Schimel, D. S. (1995): Terrestrial Ecosystems and the Carbon Cycle. *Global Change Biology* 1, 77–91.
- Schlamadinger, B. und Marland, G. (1998): Some Technical Issues Regarding Land-use Change and Forestry in the Kyoto Protocol. Unveröffentlichtes Manuskript.
- Schlesinger, W. H. (1986): Changes in soil carbon storage and associated properties with disturbance and recovery. In: Trabalka, R. und Reichle, E. F. (Hrsg.): *The changing carbon cycle: A global analysis*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 194–220.
- Schlesinger, W. H. (1990): Evidence From Chronosequence Studies for a Low Carbon Storage Potential of Soils. *Nature* 348, 232–234.
- Scholes, R. J. und Scholes, M. C. (1993): The effect of land use on non living organic matter in the soil. In: Zepp, R. G. und Sonntag, C. (Hrsg.): *The role of nonliving organic matter in the Earth's carbon cycle*. Chichester, New York: Wiley, 209–226.
- Scholes, R. J., Schulze, E.-D., Pitelka, L. F. und Hall, D. O. (1998): Biogeochemistry of Terrestrial Ecosystems. In: Walker, B., Steffen, W., Canadell, J. und Ingram, J. (Hrsg.): *The Terrestrial Biosphere and Global Change*. Cambridge, New York: Cambridge University Press (im Druck).
- Schulze, E.-D. und Heimann, M. (1998): Carbon and Water Exchange of Terrestrial Ecosystems. In: Galloway, J. N. und Melillo, J. (Hrsg.): *Asian Change in the Con-*

- text of Global Change. Cambridge: Cambridge University Press (im Druck).
- Schulze, E.-D., Schulze, W., Kelliher, F. M., Vygodskaya, N. N., Ziegler, W., Kobak, K. I., Koch, H., Arneith, A., Kusnetsova, W. A., Sogatchev, A., Issajev, A., Bauer, G. und Hollinger, D. Y. (1995): Aboveground Biomass and Nitrogen Nutrition in a Chronosequence of Pristine Dahurian Larix stands in Eastern Siberia. *Canadian Journal of Forest Research* 25, 943–960.
- Schulze, E.-D., Lloyd, J., Kelliher, F., Wirth, C., Rebmann, C., Lühker, B., Vygodskaya, N. N., Valentini, R., Mund, M., Schulze, W., Ziegler, W., Milykova, I., Varlagin, A., Dore, S., Grigoriev, S., Kolle, O. und Bauer, G. (1998): Productivity of Forests in the Eurosiberian Boreal Region and Their Potential to Act as a Carbon Sink. *Global Change Biology* (eingereicht).
- Schütz, H., Seiler, W. und Conrad, R. (1989): Processes involved in formation and emission of methane in rice paddies. *Biogeochemistry* 7, 33–53.
- Sedjo, R. und Solomon, A. M. (1989): Climate and forests. In: Rosenberg, N. J., Easterling, W. E., Crosson, P. J. und Darmstadter, J. (Hrsg.): *Greenhouse Warming: Abatement and Adaption, Resources for the Future*. Washington, DC, 105–120.
- Shaver, G. R. und Jonasson, S. (1997): Productivity of Arctic Ecosystems. In: Mooney, H. A., Roy, W. und Saugier, D. (Hrsg.): *Global Terrestrial Productivity: Past, Present and Future*. Academic Press. Unveröffentlichtes Manuskript.
- Shvidenko, A. und Nilsson, S. (1998): Phytomass, Increment, Mortality and Carbon Budget of Russian Forests. *Nature* (im Druck).
- Silvola, J. (1986): Carbon dioxide Dynamics in mires reclaimed for forestry in Eastern Finland. *Annales Botanici Fennici* 23, 59–67.
- Silvola, J., Alm, J., Ahlholm, U., Nykänen, H. und Martikainen, P. J. (1996): The contribution of plant roots to CO₂ fluxes from organic soils. *Biology and fertility of Soils* 23, 126–131.
- Spiecker, H., Mielikäinen, K., Köhl, M. und Skovsgaard, J. P. (Hrsg.) (1996): *Growth Trends in European Forests*. European Forest Institute Research Report No. 5. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Switzer, G. L., Shelton, M. G. und Nelson, L. E. (1979): Successional Development of the Forest Floor and Soil Surface on Upland Sites of the East Gulf Coastal Plain. *Ecology* 60 (6), 1162–1171.
- Tanner, E. V. J., Vitousek, P. M. und Cuevas, E. (1998): Experimental Investigation of Nutrient Limitation of Forest Growth on Wet Tropical Mountains. *Ecology* 79 (1), 10–22.
- Tate, K. R., Ross, D. J., O'Brien, B. J. und Kelliher, F. M. (1993): Carbon Storage and Turnover, and Respiratory Activity, in the Litter and soil of an old-growth southern beech (*Nothofagus*) forest. *Soil Biology and Biochemistry* 25 (11), 1601–1612.
- Thuille, A. (1998): *Waldsukzessionen auf aufgelassenen Grünlandflächen im Parco Naturale di Parneveggio e della Pala di San Martino*. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Pflanzenökologie. Universität Bayreuth. Unveröffentlichtes Manuskript.
- Tiessen, H., Stewart, J. W. B. und Bettany, J. R. (1982): Cultivation effects on the amounts and concentration of carbon, nitrogen and phosphorous in grassland soils. *Agronomy Journal* 74, 831–835.
- Tomich, T. P., Kuusipalo, J., Menz, K. und Byron, N. (1997): Imperata economics and policy. *Agroforestry Systems* 36, 233–261.
- Townsend, A. R., Braswell, B. H., Holland, E. A. und Penner, J. E. (1996a): Spatial and Temporal Patterns in Terrestrial Carbon Storage due to Deposition of Fossil Fuel Nitrogen. *Ecological Applications* 6 (3), 806–814.
- Townsend, A. R., Sykes, M. T., Apps, M. J., Fung, I., Kellomäki, S., Martikainen, P. J., Rastetter, E. B., Stocks, B. J., Volney, W. J. und Zoltai, S. C. (1996b): WG1 Summary: Natural and Anthropogenically-induced Variations in Terrestrial Carbon Balance. In: Apps, M. J. und Price, D. T. (Hrsg.): *Forest Ecosystems, Forest Management and the Global Carbon Cycle*. Band 40. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 97–107.
- Trexler, M. C. und Haugen, C. (1995): Keeping it green: Tropical forestry opportunities for mitigating climate change. Washington, DC: World Resources Institute (WRI).
- Turner, D. P., Koerper, G. J., Harmon, M. E. und Lee, J. J. (1995): A Carbon Budget for Forests of the Conterminous United States. *Ecological Applications* 5 (2), 421–436.
- Turner, J. und Long, J. N. (1975): Accumulation of Organic Matter in a Series of Douglas-fir Stands. *Canadian Journal of Forest Research* 5, 681–690.
- UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change (1997a): FCCC/TP/1997/5: United Nations Framework Convention on Climate Change: Synthesis of information from national communications of annex I Parties on sources and sinks in the land-use change and forestry sector. Technical Paper.

- UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change (1997b): UNFCCC, Decision 2/CP.3. Methodological issues related to the Kyoto protocol. FCCC/CP/1997/7/Add.1, 31.
- UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change (1997c): UNFCCC, Decision 1/CP.3. Adoption of the Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. FCCC/CP/1997/7/Add.1, 4.
- UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change (1998): Methodological Issues. Land-use change and forestry. Conclusions by the Chairman. FCCC/SBSTA/1998/CRP.3.
- Valentini, R., de Angelis, P., Matteucci, G., Monaco, R., Dore, S. und Mugnozza, G. E. S. (1996): Seasonal Net Carbon Dioxide Exchange of Beech Forest with the Atmosphere. *Global Change Biology* 2, 199–207.
- van Noordwijk, M., Cerri, C., Woomer, P. L., Nugroho, K. und Bernoux, M. (1997): Soil carbon dynamics in the humid tropical forest zone. *Geoderma* 79, 187–225.
- Veldkamp, E. (1998): Changes in soil carbon stocks following conversion of forest to pasture in the tropics. *Nato ASI Soil, Processes and Global Change*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Vitorello, V. A., Cerri, C. C., Andreux, F., Feller, F. und Victoria, R. L. (1989): Organic matter and natural carbon-13 distribution in forested and cultivated soils. *Soil Science Society of America* 53, 773–778.
- Vitousek, P. M. (1984): Litterfall, Nutrient Cycling, and Nutrient Limitation in Tropical Forests. *Ecology* 65, 285–298.
- Vogt, K. A., Vogt, D. J., Brown, S., Tilley, J. P., Edmonds, R. L., Whendee, L. S. und Siccama, T. G. (1995): Dynamics of Forest Floor and Soil Organic Matter. Accumulation in Boreal, Temperate and Tropical Forests. In: Lal, W., Kimble, J., Levine, E. und Stewart, B. E. (Hrsg.): *Soil Management and Greenhouse Effect*. Boca Raton: CRC Press, 159–178.
- Vogt, K., Grier, C. C., Meier, C. E. und Keyes, M. (1983): Organic Matter and Nutrient Dynamics in Forest Floors of Young and Mature *Abies amabilis* Stands in Western Washington, as Affected by Fine-root Input. *Ecological Monographs* 53 (2), 139–157.
- Volney, W. J. (1996): Climate Change and Management of Insect Defoliators in Boreal Forest Ecosystems. In: Apps, M. J. und Price, D. T. (Hrsg.): *Forest Ecosystems, Forest Management and the Global Carbon Cycle*. Band 40. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 79–87.
- Voroney, R. P., van Veen, J. A. und Paul, E. A. (1981): Organic C dynamics in grassland soils. Model validation and simulation of the long-term effects of cultivation and rainfall erosion. *Canadian Journal of Soil Science* 61, 211–224.
- Walker, B., Steffen, W., Canadell, J. und Ingram, J. (1998): *The Terrestrial Biosphere and Global Change: Implications for Natural and Managed Ecosystems*. Executive Summary. Cambridge, New York: Cambridge University Press (im Druck).
- Walter, H. (1964): *Die Vegetation der Erde in ökophysiologischer Betrachtung*. Band 1: Die tropischen und subtropischen Zonen. Stuttgart: Fischer.
- Waring, R. H., Landsberg, J. und Williams, M. (1998): Net Primary Production of Forests: a Constant Fraction of Gross Primary Production? *Tree Physiology* 18, 129–134.
- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (1994): *Welt im Wandel: Die Gefährdung der Böden*. Jahresgutachten 1994. Bonn: Economica.
- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (1996): *Welt im Wandel: Herausforderung für die deutsche Wissenschaft*. Jahresgutachten 1996. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (1998): *Welt im Wandel: Wege zu einem nachhaltigen Umgang mit Süßwasser*. Jahresgutachten 1997. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Winjum, J. K., Dixon, R. K. und Schroeder, P. E. (1992): Estimating the global potential of forest and agroforest management practices to sequester carbon. Dordrecht: Kluwer.
- Woodwell, G. M., Mackenzie, F. T., Houghton, R. A., Apps, M. J., Gorham, E. und Davidson, E. A. (1995): Will the warming speed the warming? In: Woodwell, G. M. und Mackenzie, F. T. (Hrsg.): *Biotic feedbacks in the global climatic system*. Oxford, New York: Oxford University Press, 393–411.
- Woomer, P. L., Palm, C. A., Qureshi, J. N. und Same, J. K. (1998): Carbon sequestration and organic resource management in african smallholder agriculture. In: Lal, R., Kimble, J., Follett, R. und Stewart, B. A. (Hrsg.): *Management of carbon sequestration in soil*. Boca Raton: CRC Press, 153–174.
- Zoltai, S. C. und Martikainen, P. J. (1996): Estimated Extent of Forested Peatlands and Their Role in the Global Carbon Cycle. In: Apps, M. J. und Price, D. T. (Hrsg.): *Forest Ecosystems, Forest Management and the Global Carbon Cycle*. Band 40. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 47–58.

Mitarbeiter des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen

(Stand: 7. Mai 1998)

ASSISTENTINNEN UND ASSISTENTEN DER BEIRATSMITGLIEDER

Dr. Arthur Block, Potsdam
Dipl.-Geogr. Gerald Busch, Göttingen
Susanne Fischer, ÄiP, Göttingen
Andreas Klinke, M.A., Stuttgart
Dipl.-Psych. Dörthe Krömker, Hagen
Dr. Gerhard Lammel, Hamburg
Referendar-jur. Leo-Felix Lee, Heidelberg
Dipl.-Ing. Roger Lienenkamp, Dortmund
Dr. Heike Mumm, Konstanz
Dipl.-Biol. Martina Mund, Bayreuth
Dipl.-Volksw. Thilo Pahl, Marburg
Dipl.-Ök. Roland W. Waniek, Bochum

GESCHÄFTSSTELLE DES WISSENSCHAFTLICHEN BEIRATS, BREMERHAVEN

Prof. Dr. Meinhard Schulz-Baldes (Geschäftsführer)
Dr. Carsten Loose (Stellvertretender Geschäftsführer)
Dipl.-Pol. Frank Biermann, LL.M.
Dipl.-Phys. Ursula Fuentes Hutfilter
Vesna Karic-Fazlic
Ursula Liebert
Dr. Benno Pilardeaux
Martina Schneider-Kremer, M.A.