

Dritter Bericht

der Enquete-Kommission
„Schutz der Erdatmosphäre“

zum Thema

Schutz der Grünen Erde

— Klimaschutz durch umweltgerechte Landwirtschaft und Erhalt der Wälder —

Eingesetzt durch Beschluß des Deutschen Bundestages vom 25. April 1991

— Drucksache 12/419 —

Zusammensetzung der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“

Mitglieder

Dr. Klaus W. Lippold (Offenbach), MdB (CDU/CSU)
Vorsitzender

Dr. Liesel Hartenstein, MdB (SPD)
Stellvertretende Vorsitzende

Klaus Harries, MdB (CDU/CSU)
Dr. Peter Paziorek, MdB (CDU/CSU)
Dr. Christian Ruck, MdB, (CDU/CSU)
Trudi Schmidt (Spiesen), MdB (CDU/CSU)
Bärbel Sothmann, MdB (CDU/CSU)
Brigitte Adler, MdB (SPD)
Prof. Monika Ganseforth, MdB (SPD)
Horst Kubatschka, MdB (SPD)
Dr. Klaus Kübler, MdB (SPD)
Martin Grüner, MdB, Parlamentarischer Staatssekretär a. D. (F.D.P.)
Marita Sehn, MdB (F.D.P.)

Prof. Dr. Wilfrid Bach
Prof. Dr. Dr. Rudolf Dolzer
Dr. Ing. Alfred-Herwig Fischer
Prof. Dr. Hartmut Graßl
Prof. Dr. Klaus Heinloth
Prof. Dr. Peter Hennicke
Prof. Dr. Hans-Jürgen Jäger
Prof. Dr. Ing. Eckhard Kutter
Prof. Dr. Klaus Michael Meyer-Abich, Senator a. D.
Prof. Dr. Hans Michaelis, Generaldirektor a. D.
Prof. Dr. Wolfgang Seiler
Prof. Dr. Alfred Voß
Prof. Dr.-Ing. Carl-Jochen Winter

Beratende Mitglieder

Dr. Dagmar Enkelmann, MdB (PDS/Linke Liste)
Dr. Klaus-Dieter Feige, MdB (BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN)

Sekretariat

MR Roland Jacob (Leiter)
ORR Klaus Aschinger, Jurist
Michael Bisek, Dipl.-Geograph
Bernhard Burdick, Dipl.-Agraringenieur
Dr. Birgit Keller, Dipl.-Physikerin
Dr. Kora Kristof, Dipl.-Volkswirtin
Dr. Martin Rieland, Dipl.-Meteorologe
Ralf Schmidt, Dipl.-Geograph
Dr. Manfred Treber, Dipl.-Physiker
Thomas Fürst (Organisatorische Aufgaben)
Elke Greif (Sekretariatsaufgaben)

Vorwort

Mit ihrem dritten Bericht legt die Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ eine umfassende und fundierte Darstellung des derzeitigen Wissensstandes zum Thema Klimaänderung, Landwirtschaft und Wälder vor. Die Kommission analysiert Ursachen und Wirkungen der Spurengasemissionen aus dem Bereich der Landwirtschaft und ihre Bedeutung für den Treibhauseffekt ebenso wie das Ausmaß der Waldvernichtung und der Walddegradation der Erde und die daraus resultierenden Folgen für das globale Klima. Über die Aktualisierung der Tropenwaldproblematik hinaus wurden die borealen Wälder der nördlichen Hemisphäre in die Analyse einbezogen und ein damit bislang zu Unrecht vernachlässigter Bereich aufgearbeitet.

Die Themenkomplexe Landwirtschaft und Wälder sind inhaltlich auf vielfältige Art miteinander verbunden. Der Bericht stellt diese Zusammenhänge und Wechselwirkungen dar und schafft damit eine umfassende Grundlage für Handlungsempfehlungen auf nationaler und internationaler Ebene. Die wissenschaftliche Fundiertheit schafft die Voraussetzung für die notwendige politische und gesellschaftliche Akzeptanz und belegt gleichzeitig die Dringlichkeit geeigneter Maßnahmen zur Eindämmung der sich abzeichnenden Klimaänderung.

Die Enquete-Kommission hat dazu

- eine Vielzahl international renommierter Experten angehört
- den aktuellen Diskussionsstand von in- und ausländischen Fachkongressen zu diesem Themenbereich einbezogen
- wissenschaftliche Gutachten vergeben, die in einer eigenen Reihe „Studienprogramm Landwirtschaft und Wälder“ veröffentlicht werden und deren Ergebnisse in den vorliegenden Bericht eingearbeitet sind
- im Verlauf der Diskussion für den Berichtsentwurf sich von einer Reihe anerkannter Wissenschaftler beraten lassen
- mit Vertretern internationaler Regierungsorganisationen und Vertretern von Nichtregierungsorganisationen diskutiert
- die zuständigen Ressorts der Bundesregierung an den Beratungen beteiligt
- und intensive Gespräche mit den zuständigen Mitgliedern der Bundesregierung geführt.

Ziel der Kommission ist es, mit diesem Bericht Handlungsempfehlungen für die weltweite Gestaltung und Durchsetzung tragfähiger und somit umwelt- und klimaverträglicher Formen der Land- und Waldbewirtschaftung, des Waldschutzes und des Erhaltes noch verbliebener Urwälder vorzulegen.

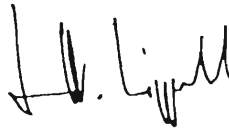
Die Zeit drängt, es muß schnell gehandelt werden und je eher dies global geschieht, desto weniger werden zukünftige Generationen belastet. Wir verkennen dabei nicht die besondere Verantwortung der Industrieländer für die Lösung der anstehenden Fragen, sehen aber auch die notwendige Einbindung der Entwicklungsländer. Beides wird in den vorgelegten Handlungsempfehlungen berücksichtigt.

Eine Auseinandersetzung mit dieser umfassenden Problematik muß selbstverständlich davon wesentlich berührte andere Politikbereiche einbeziehen: Internationale Bevölkerungspolitik sowie über die Klimaschutzfragen hinausgehende Fragen des Umweltschutzes und der Umweltschutzpolitik. Dabei ist auch die wirtschaftliche und wirtschaftspolitische Fragestellung mit einzubeziehen. Wir gehen davon aus, daß das vorliegende Konzept diesen umfassenden Anspruch erfüllt.

Ich bitte alle, die diesen Bericht lesen, um Anregungen, Hinweise und konstruktive Kritik.

Mein herzlicher Dank gilt der Präsidentin des Deutschen Bundestages für die wohlwollende Unterstützung, die sie der Kommission gewährt hat. Mein Dank gilt allen Kommissionsmitgliedern für die intensive Kooperation. Meinen besonderen, persönlichen Dank und den der Kommission möchte ich dem Sekretariat für seinen beispiellosen und vorbildlichen Einsatz sowie die ausgezeichnete und vertrauensvolle Zusammenarbeit aussprechen.

Bonn, den 27. Juli 1994



Dr. Klaus. W. Lippold, MdB
Vorsitzender der Enquete-Kommission
„Schutz der Erdatmosphäre“

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Abschnitt A	
Klimaänderung und Ozon	14
1. Anthropogene Klimabeeinflussung — Die Rolle der Landwirtschaft und der Wälder	14
1.1 Charakteristika unseres Klimasystems	14
1.2 Eingriffe des Menschen in das Klimasystem durch Nutzung der Landoberflächen	14
1.3 Klimarelevante Spurengase — Der anthropogene Treibhauseffekt ..	16
1.3.1 Volumenanteile und Treibhauspotentiale	17
1.3.2 Ursachen und Verursacher — klimarelevante Emissionen im Landwirtschafts- und Waldbereich	18
1.3.3 Der CO ₂ -Kreislauf	19
1.4 Klimavorhersage	21
1.5 Erkennbare Klimaänderungstendenzen	22
1.6 Quintessenz	24
2. Veränderung des Ozongehaltes durch den Menschen	25
2.1 Grundlagen: Ozonbildung, -transporte und mittlere Trends	25
2.2 Auswirkungen der anthropogen bedingten Änderung des Ozongehaltes	25
2.3 Stratosphärischer Ozonabbau	27
2.4 Troposphärische Ozonzunahme	30
2.5 Ozonrelevante Emissionen im Landwirtschafts- und Waldbereich ..	31
3. Literaturverzeichnis zu Abschnitt A	32
Abschnitt B	
Klimaänderung und Landwirtschaft	34
Zusammenfassung und zentrale Empfehlungen	34
1. Bedeutung der Landwirtschaft	37
1.1 Ökonomische Bedeutung der Landwirtschaft	38
1.1.1 Landwirtschaftliche Flächennutzung in der Bundesrepublik Deutschland	38
1.1.2 Formen und Intensitätsstufen der landwirtschaftlichen Produktion ..	39
1.1.3 Strukturwandel in der Landwirtschaft	42
1.1.4 Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik im Jahr 1992	52

	Seite
1.1.4.1 Maßnahmen der Agrarreform	52
1.1.4.2 Auswirkungen der Agrarreform	54
1.1.5 Blick auf die internationale Landwirtschaft	56
1.2 Ökologische Bedeutung der Landwirtschaft	57
1.2.1 Negative Wirkungen der Landwirtschaft auf die Umwelt	57
1.2.2 Positive Wirkungen der Landwirtschaft auf die Umwelt	58
2. Beitrag der Landwirtschaft zur Emission klimawirksamer Spurengase	58
2.1 Methan (CH ₄)	59
2.1.1 Methankreislauf	60
2.1.2 Methanemissionen bei der Tierhaltung	61
2.1.3 Methanemissionen aus tierischen Exkrementen	64
2.1.4 Naßreisanbau	67
2.1.5 Biomasseverbrennung	70
2.1.6 Indirekte Einflüsse der Landwirtschaft auf die Methanemission aus anderen Ökosystemen	71
2.2 Distickstoffoxid (N ₂ O)	71
2.2.1 Stickstoffkreislauf	72
2.2.2 Mikrobiologische Prozesse	74
2.2.2.1 Nitrifikation	74
2.2.2.2 Denitrifikation	75
2.2.3 Distickstoffoxidemissionen	76
2.2.3.1 Düngung	76
2.2.3.2 Biomasseverbrennung	87
2.2.3.3 Indirekte Einflüsse der Landwirtschaft auf die Distickstoffoxidemissionen aus anderen Ökosystemen	88
2.3 Kohlendioxid (CO ₂)	88
2.3.1 Kohlendioxidkreislauf	88
2.3.2 Landnutzungsänderungen	88
2.3.2.1 Ausmaß der Landnutzungsänderungen	89
2.3.2.2 Kohlendioxidemissionen	92
2.3.3 Degradation der Böden	93
2.3.3.1 Humusabbau, Bodenerosion und Bodendegradation	93
2.3.3.2 Kohlendioxidemissionen	98

	Seite
2.3.4 Verbrauch fossiler Energieträger	98
2.3.4.1 Energieeinsatz	98
2.3.4.2 Kohlendioxidemissionen	103
2.4 Indirekt klimawirksame Spurengase	106
2.4.1 Ammoniak (NH ₃)	106
2.4.2 Kohlenmonoxid (CO)	110
2.4.3 Stickstoffoxide (NO _x)	111
2.4.4 Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (NMHC)	111
2.4.5 Gasförmige Schwefelverbindungen	112
3. Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Landwirtschaft	112
3.1 Auswirkungen auf den Pflanzenanbau	113
3.1.1 Wirkungen von klimatischen Faktoren auf Pflanzen	113
3.1.1.1 Strahlung	113
3.1.1.2 Temperatur	113
3.1.1.3 Niederschlag	116
3.1.1.4 Wind	116
3.1.2 Wirkungen der Zunahme atmosphärischer Spurengase auf Pflanzen	116
3.1.2.1 Kohlendioxid (CO ₂)	116
3.1.2.2 Troposphärisches Ozon	120
3.1.3 Wirkungen der UV-B-Strahlung auf Pflanzen	123
3.1.4 Wirkungen von klimatischen Faktoren auf Böden	125
3.1.5 Wirkungen auf die Produktqualität	126
3.1.6 Auswirkungen auf die Produktionstechnik	126
3.2 Auswirkungen auf die Tierhaltung	129
3.3 Auswirkungen auf die Welternährung	130
3.3.1 Quantitative Abschätzung von Ertragsveränderungen	130
3.3.2 Derzeitiger Stand und weitere Entwicklung der Welternährung ...	131
4. Handlungsoptionen und Potentiale zur Verringerung des Beitrages der Landwirtschaft zur Emission klimawirksamer Spurengase	136
4.1 Derzeitige Situation der Weltlandwirtschaft	136
4.1.1 Intensivlandwirtschaft in Europa	136
4.1.2 Landwirtschaft in den Entwicklungsländern	136
4.1.3 Globale Umweltprobleme durch nicht nachhaltige Landbewirtschaftung	137
4.1.4 Drohende Gefahren durch die Klimaänderung	137
4.1.5 Konsequenzen für die Ernährung der Weltbevölkerung	137
4.1.6 Zielsetzung für die künftige globale Landbewirtschaftung	138

4.1.7	Politische Grundlagen zur globalen Umsetzung einer nachhaltigen Landbewirtschaftung	138
4.1.8	Definition einer nachhaltigen Landbewirtschaftung	139
4.2	Handlungsoptionen auf nationaler und europäischer Ebene	140
4.2.1	Maßnahmen zur Reduzierung von Methanemissionen (CH ₄)	141
4.2.1.1	Reduzierung der Tierbestände	142
4.2.1.2	Bindung der Tierhaltung an die Fläche	142
4.2.1.3	Reduzierung der Methanemission je Produkteinheit	143
4.2.1.4	Verringerung der Methanemissionen aus den Exkrementen	143
4.2.2	Maßnahmen zur Reduzierung von Distickstoffoxidemissionen (N ₂ O)	144
4.2.2.1	Flächenbezogene Stickstoffbilanzierung	145
4.2.2.2	Verteuerung und Begrenzung des mineralischen Stickstoffdüngers	145
4.2.2.3	Bindung der Tierhaltung an die Fläche	147
4.2.2.4	Bewirtschaftungsmaßnahmen zur Beeinflussung der Distickstoff- oxidemissionen	149
4.2.3	Maßnahmen zur Reduzierung von Ammoniakemissionen (NH ₃) ...	150
4.2.3.1	Reduzierung der Tierbestände/Bindung der Tierhaltung an die Fläche	150
4.2.3.2	Reduzierung der Ammoniakemissionen je Produkteinheit	151
4.2.3.3	Gewinnung, Lagerung, Aufbereitung und Ausbringung von Wirt- schaftsdüngern	151
4.2.3.4	Herstellung und Ausbringung von stickstoffhaltigen Mineräldün- gern	153
4.2.4	Maßnahmen zur Reduzierung von Kohlendioxidemissionen (CO ₂) .	153
4.2.4.1	Bodenschutz und Humuswirtschaft	154
4.2.4.2	Senkung des Energieverbrauchs in der Landwirtschaft	155
4.2.4.3	Anbau nachwachsender Rohstoffe und Energieträger	156
4.2.5	Rahmenbedingungen zur Gestaltung einer nachhaltigen Landbe- wirtschaftung	160
4.3	Handlungsoptionen auf internationaler Ebene	162
4.3.1	Veränderungen der politischen und ökonomischen Rahmenbedin- gungen des Welthandels und der wirtschaftlichen Zusammenarbeit	163
4.3.1.1	Welthandel	163
4.3.1.2	Wirtschaftliche Zusammenarbeit	164
4.3.2	Verringerung des Bevölkerungswachstums	165
4.3.3	Technische Entwicklungszusammenarbeit	166
4.3.3.1	Agroforstwirtschaft	166
4.3.3.2	Methan-Reduktion im Reisanbau	167
4.4	Handlungsempfehlungen der Enquete-Kommission	167
4.4.1	Handlungsempfehlungen auf nationaler und europäischer Ebene .	168

	Seite
4.4.1.1 Veränderung der agrarpolitischen Rahmenbedingungen im Hinblick auf die Umsetzung einer nachhaltigen umweltverträglichen Landwirtschaft	168
4.4.1.2 Maßnahmen zur Reduzierung von Methanemissionen (CH ₄)	168
4.4.1.3 Maßnahmen zur Reduzierung von Distickstoffoxidemissionen (N ₂ O)	169
4.4.1.4 Maßnahmen zur Reduzierung der Ammoniakemissionen (NH ₃) ...	169
4.4.1.5 Maßnahmen zur Reduzierung von Kohlendioxidemissionen (CO ₂) .	170
4.4.2 Handlungsempfehlungen auf internationaler Ebene	171
4.4.2.1 Veränderungen der politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen des Welthandels und der wirtschaftlichen Zusammenarbeit	171
4.4.2.2 Maßnahmen zur Verringerung des Bevölkerungswachstums	171
4.4.2.3 Technische Entwicklungszusammenarbeit im Agrarsektor	171
4.5 Möglichkeiten der Anpassung der Landwirtschaft an die Klimaänderung	172
4.6 Forschungsbedarf	173
5. Literaturverzeichnis zu Abschnitt B	174

Abschnitt C

Klimaänderung und Wälder	181
Zusammenfassung und zentrale Empfehlungen	181
1. Die Wälder der Erde	185
1.1 Verbreitung und Gliederung	185
1.2 Das Ökosystem Wald	185
1.3 Bedeutung der Wälder für den Menschen	187
1.4 Historische Entwicklung und aktuelle Gefährdung der Wälder	188
1.5 Die Zukunft der Wälder in einem veränderten Klima	189
1.6 Zeit zu Handeln	190
1.6.1 Maßnahmen außerhalb der Wald- und Holzwirtschaft	190
1.6.2 Herausforderung für die Wald- und Holzwirtschaft	190
2. Die Wälder der borealen Zone	191
2.1 Geographische Verbreitung	191
2.2 Vegetationsgeographische Gliederung	192
2.3 Evolution, Struktur und Entwicklungsdynamik borealer Waldökosysteme	194
2.4 Die Bedeutung der borealen Wälder	196
2.4.1 Der Einfluß der borealen Wälder auf das regionale und globale Klima	196

	Seite
2.4.2 Biodiversität	198
2.4.3 Lebensraum für die heutige Bevölkerung, speziell für indigene Völker	199
2.4.4 Wirtschaftliche Bedeutung	199
2.4.5 Schutz- und Erholungsfunktion	200
2.5 Die Beeinflussung der borealen Wälder durch den Menschen	201
2.5.1 Holzeinschlag	203
2.5.2 Feuer und Schädlingsbefall	205
2.5.3 Erschließung und industrielle Entwicklung	205
2.6 Waldnutzung und -gefährdung in der ehemaligen Sowjetunion ...	206
2.6.1 Forst- und Holzwirtschaft in der ehemaligen Sowjetunion	206
2.6.2 Gefährdung durch Feuer	209
2.6.3 Gefährdung durch die fortschreitende Erschließung Sibiriens und die Emissionen aus der Industrie	210
2.7 Nutzung und Gefährdung der Wälder in Kanada	211
2.7.1 Die kanadische Forst- und Holzwirtschaft	211
2.7.2 Gefährdung durch Feuer und Insekten	215
2.7.3 Industrielle Erschließung	217
2.8 Waldnutzung und -gefährdung in Fennoskandien	219
2.8.1 Der Einfluß der Forst- und Holzwirtschaft	219
2.8.2 Schadstoffeintrag in die Wälder	220
3. Die Wälder der gemäßigten Zone	221
3.1 Abgrenzung und geographische Verbreitung	221
3.2 Die Waldtypen in der gemäßigten Zone	223
3.3 Die Entwicklung der Wälder der gemäßigten Zone	224
3.4 Die Bedeutung der Wälder der gemäßigten Zone	225
3.4.1 Bedeutung für das globale Klima	226
3.4.2 Wirtschaftliche Bedeutung	226
3.5 Die neuartigen Waldschäden	228
3.5.1 Inventurmethode und beobachtetes Ausmaß	229
3.5.1.1 Bundesrepublik Deutschland	229
3.5.1.2 Europa	231
3.5.2 Ursachen der Waldschäden	233
3.5.3 Die Rolle des Eintrags von Luftverunreinigungen in die Wälder ...	233
3.5.3.1 Direkte Wirkung von Schadgasen auf die oberirdischen Pflanzenteile	237
3.5.3.2 Wirkungen langfristiger Stoffzufuhr und -anreicherung im Boden ..	238
3.5.4 Fazit	241
3.6 Sonstige Waldgefährdungen	242

	Seite
3.6.1 Waldbrände	242
3.6.2 Wildschäden	243
4. Bestand und Gefährdung der tropischen Wälder	245
4.1 Geographische Verbreitung, Gliederung und Ökologie der tropischen Waldökosysteme	245
4.1.1 Immergrüne tropische Feuchtwälder	246
4.1.2 Regengrüne tropische Feuchtwälder	248
4.1.3 Regengrüne Trockenwälder	248
4.1.4 Tropenwälder auf Sonderstandorten	249
4.2 Die Bedeutung der tropischen Wälder	249
4.2.1 Schutz und Versorgungsfunktion	249
4.2.2 Die Rolle für das regionale und globale Klima	249
4.2.3 Brennholzgewinnung und Nutzholzeinschlag	250
4.3 Ausmaß der Vernichtung und Degradation tropischer Wälder	256
4.4 Ursachen der Tropenwaldvernichtung und -degradation	258
4.5 Folgen der Tropenwaldvernichtung	261
4.5.1 Auswirkungen auf das regionale und globale Klima	261
4.5.2 Ökologische Folgen	262
4.5.2.1 Artenverluste	262
4.5.2.2 Bodenerosion und -degradation	263
5. Auswirkungen künftiger Klimaänderungen auf die Wälder	265
5.1 Ökosystemare Grundlagen	265
5.2 Nacheiszeitliche Entwicklung der Wälder	266
5.3 Die zukünftige Entwicklung der Wälder in einem sich verändernden Klima	267
5.3.1 Ausmaß der zu erwartenden Klimaänderung	267
5.3.2 Auswirkungen auf Ökosystemprozesse	267
5.3.2.1 Auswirkung einer Veränderung der Temperatur- und Feuchteverhältnisse	268
5.3.2.2 Auswirkungen extremer Witterungsereignisse	269
5.3.2.3 Wirkungen eines erhöhten CO ₂ -Gehaltes in der Atmosphäre	269
5.3.2.4 Auswirkungen erhöhter UV-B-Strahlung	271
5.3.3 Fazit	271
5.4 Modellvorhersagen über die zukünftige Verteilung der Wälder ...	271
6. Die Rolle der Biosphäre im globalen Kohlenstoffkreislauf und der Einfluss des Menschen	273
6.1 Der globale Kohlenstoffkreislauf und die Rolle der Biosphäre	273
6.2 Der Kohlenstoffhaushalt der Biosphäre	276
6.2.1 Wälder	277

	Seite
6.2.2 Ökozonen ohne Waldbedeckung	282
6.2.3 Fazit	283
6.3 Möglichkeiten zur zusätzlichen Kohlenstoffeinbindung im Bereich der Forst- und Holzwirtschaft	283
6.3.1 Potentiale zur Kohlenstoffeinbindung durch Aufforstung nichtbewaldeter Flächen	284
6.3.2 Erhöhung der Biomassendichte in bestehenden Wäldern	287
6.3.3. Erhöhung der Kohlenstoffspeicherung in Holzprodukten und Ersatz energieintensiver Materialien durch Holz	288
6.3.4 Ersatz fossiler Energieträger durch Holz aus nachhaltiger Bewirtschaftung	290
6.3.5 Fazit	290
7. Bisherige Maßnahmen, Handlungsmöglichkeiten und Empfehlungen zum Schutz der Wälder	291
7.1 Situationsanalyse	292
7.2 Allgemeine Zielsetzungen und Handlungsfelder	293
7.3 Handlungsoptionen, Instrumente und Empfehlungen zum Schutz der temperierten Wälder	294
7.3.1 Instrumente zur Veränderung waldschädigender Emissionen	294
7.3.2 Schutz und nachhaltige Bewirtschaftung	297
7.3.3 Empfehlungen der Enquete-Kommission zum Schutz der temperierten Wälder	297
7.3.3.1 Empfehlungen für die internationale Ebene	297
7.3.3.2 Empfehlungen für die nationale und die EG-Ebene	299
7.4 Handlungsoptionen, Instrumente und Empfehlungen zum Schutz der borealen Wälder	301
7.4.1 Handlungsoptionen und Instrumente	302
7.4.2 Empfehlungen der Enquete-Kommission zum Schutz der borealen Wälder	302
7.4.2.1 Verstärkung der internationalen Kooperation mit den Nachfolgestaaten der ehemaligen Sowjetunion	302
7.4.2.2 Entwicklung und Umsetzung von Schutz- und nachhaltigen Nutzungskonzepten in den borealen Wäldern Nordamerikas	303
7.5 Handlungsoptionen, Instrumente und Empfehlungen zum Schutz der Tropenwälder	303
7.5.1 Handlungsoptionen und Instrumente	303
7.5.1.1 Tropenforst-Aktionsprogramm (TFAP)	303
7.5.1.2 Pilotprogramm zum Schutz der brasilianischen Regenwälder	303
7.5.1.3 Schuldenerleichterungen und -erlaß	304
7.5.1.4 Globale Umweltfazilität (GEF)	305
7.5.1.5 Internationales Tropenholz-Übereinkommen (ITTA) und Internationale Tropenholzorganisation (ITTO)	306
7.5.1.6 Einführung eines Labels für Tropenholz aus nachhaltiger Bewirtschaftung	306
7.5.2 Empfehlungen der Enquete-Kommission zum Schutz der Tropenwälder	306

	Seite
7.5.2.1 Bewertung der bisherigen Bemühungen auf der Basis der Empfehlungen der Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“	306
7.5.2.2 Globale Analyse und kritische Bewertung der bi- und multilateralen Bemühungen zum Tropenwaldschutz	308
7.5.2.3 Entwicklung und Umsetzung einer sozial- und umweltverträglichen Landnutzungsplanung in den Tropenwaldländern	308
7.5.2.4 Entwicklung und Umsetzung tragfähiger Schutzkonzepte	308
7.5.2.5 Entwicklung und Umsetzung nachhaltiger Bewirtschaftungsmethoden	309
7.5.2.6 Ausweitung von umweltverträglichen und von der Bevölkerung akzeptierten Aufforstungen	309
7.5.2.7 Festschreibung nachprüfbarer Kriterien für nachhaltig erzeugte Holzprodukte und Einführung eines Tropenholzlabels	310
7.6 Klima- und umweltverträgliche Holzverwendung	310
7.6.1 Handlungsoptionen und Rahmenbedingungen	310
7.6.1.1 Effiziente Nutzung des eingeschlagenen Holzes	311
7.6.1.2 Vermeidung und Wiederverwertung von Produkten aus Papier- und Pappe	312
7.6.1.3 Energetische Nutzung von Holz und Holzabfällen	312
7.6.2 Nationale Rahmenbedingungen und Handlungsfelder	314
7.6.3 Handlungsempfehlungen der Enquete-Kommission im Bereich klima- und umweltverträglicher Holzverwendung	315
7.6.3.1 Maßnahmen auf der internationalen Ebene	315
7.6.3.2 Maßnahmen auf der nationalen Ebene	316
7.7 Internationale Konvention zum Schutz der Wälder	317
7.7.1 Rechtliche Grundlagen und Möglichkeiten	317
7.7.2 Empfehlungen der Enquete-Kommission zur Ausarbeitung und Verabschiedung einer Internationalen Konvention zum Schutz der Wälder	319
7.7.2.1 Struktur der Konvention	319
7.7.2.2 Inhaltliche Eckpunkte	319
7.7.2.3 Zeitplan für die Verabschiedung einer Internationalen Waldkonvention	323
7.8 Forschungsempfehlungen	323
7.8.1 Aktueller Waldbestand und globale Waldflächenentwicklung in den verschiedenen Klimazonen	323
7.8.2 Waldökologie und Stoffhaushalt der Wälder sowie Auswirkungen künftiger Klimaänderungen	324
7.8.3 Waldwirtschaftliche Möglichkeiten zur Eindämmung des anthropogenen Treibhauseffektes	324
7.8.4 Ökonomische Bewertung der vielfältigen Leistungen der Wälder ..	324
7.8.5 Effiziente und sparsame Holzverwendung	324
8. Literaturverzeichnis zu Abschnitt C	325

Abschnitt A — Klimaänderung und Ozon

1. Anthropogene Klimabeeinflussung — Die Rolle der Landwirtschaft und der Wälder

1.1 Charakteristika unseres Klimasystems

Das Klima ist durch den statistischen Ablauf aller Wetterereignisse — gemittelt über einen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten — für jedes Gebiet der Erde definiert. Eine Änderung des Klimas kann nicht aus einzelnen Extremereignisse (z. B. Jahrhundert-sommer) abgeleitet werden. Erst durch mehrere Jahrzehnte fortlaufende Messungen lassen sich Klimaveränderungen, z. B. durch Feststellen eines Trends und/oder veränderte Häufigkeitsverteilungen von Wetterereignissen, nachweisen. Dabei ist die häufig herangezogene Änderung der bodennahen Lufttemperatur nur einer von vielen Indikatoren für Klimaänderungen. Niederschlag, Bewölkung, Wind, Bodenfeuchte aber auch Häufigkeit, Intensität und Verteilung von Wetterereignissen über das Jahr sowie die zeitliche Veränderung der Fläche und der Volumina von Gletschern sind ebenfalls wichtige Klimagrößen.

Die Ursachen der im Verlauf der Erdgeschichte beobachteten Klimaänderungen sind sehr vielfältig. Sie lassen sich zeitlich wie auch nach Art der Einflußnahme einordnen. Die für die nachfolgende Diskussion relevante Zeitskala für Klimaänderungen umfaßt 10 bis 1000 Jahre. Innerhalb dieser in erdgeschichtlicher Hinsicht sehr kurzen Zeitspanne wird das Klima z. B. durch Schwankungen der Sonnenaktivität, durch Vulkanismus, vor allem aber seit Beginn der Industrialisierung durch die anthropogene Freisetzung klimarelevanter Spurengase beeinflusst. Dagegen spielen die längerfristig angelegten Klimaänderungen, hervorgerufen durch periodische Änderungen der Erdbahnparameter (20 000 bis 100 000 Jahre), durch Gebirgsbildung (10 000 000 Jahre) oder durch Veränderung der Land/Meer-Verteilung aufgrund plattentektonischer Prozesse (>10 000 000 Jahre) in diesem Betrachtungszeitraum keine wesentliche Rolle.

Alle bisher aufgeführten Ursachen für Klimaänderungen, einschließlich des Einflußfaktors Mensch, werden als äußere Einflüsse, (externe Klimafaktoren) bezeichnet, weil keine direkte wesentliche Wechselwirkung mit dem Klimasystem besteht oder bekannt ist. Klimaänderungen können jedoch auch durch innerhalb des Klimasystems selbst angelegte Schwankungen bedingt sein (interne Klimafaktoren). Das Klimasystem ist höchst komplex. Es besteht aus vier größeren Untersystemen: Atmosphäre, Ozean, Landmassen und kontinentale Eisschilde (Abb 1.1). Innerhalb sowie zwischen diesen einzelnen Untersystemen findet ein ständiger, allerdings in sehr unterschiedlichen Zeitskalen ablaufender Austausch von Energie, Stoffen und Impuls statt, auf den die zu beobachtende

natürliche Klimavariabilität zu einem wesentlichen Teil zurückzuführen ist. So werden natürliche Klimaschwankungen z. B. durch großräumige Änderungen der ozeanischen Zirkulation hervorgerufen (10 bis 1000 Jahre).

1.2 Eingriffe des Menschen in das Klimasystem durch Nutzung der Landoberflächen

Durch menschliche Aktivitäten wird die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre verändert und die Oberfläche der Erde umgestaltet. Beides beeinflusst unser Klima. Die zunehmende Bewirtschaftung und Ausdehnung der landwirtschaftlich genutzten Flächen sowie der Eingriff des Menschen in natürliche Ökosysteme kann zu merklichen Änderungen der Energieflüsse innerhalb des Klimasystems und damit zu signifikanten Änderungen des regionalen, aber auch des globalen Klimas führen. Diese Klimaänderungen können sich wiederum nachteilig auf das Nutzungspotential der Landflächen für den Menschen auswirken.

Ein weiteres Beispiel einer anthropogenen Beeinflussung des Klimas der Erde ist der durch menschliche Aktivitäten bedingte Anstieg der Konzentrationen klimarelevanter Spurengase in der Atmosphäre, der eine erhebliche Störung der Energiebilanz des Planeten (anthropogener Treibhauseffekt) verursacht und damit eine Änderung der globalen Klimaverhältnisse zur Folge haben wird (s. Kap. 1.3). Der beobachtete Anstieg der Konzentration der Treibhausgase ist neben der Verbrennung fossiler Brennstoffe in einem erheblichen Umfang auf die anthropogene Landnutzung zurückzuführen, bei der Wälder in landwirtschaftlich genutzte Flächen umgewandelt und dabei große Waldgebiete, u. a. durch Rodung mit anschließender Verbrennung der nichtgenutzten Biomasse, vernichtet werden. Hier werden große Mengen an Kohlendioxid, Methan und anderen klimarelevanten Gasen und Partikeln freigesetzt.

Zusätzlich werden klimarelevante Spurengase auch durch den zunehmenden Einsatz von Düngemitteln (Freisetzung von Distickstoffoxid, oft auch Lachgas genannt, N_2O), durch den verstärkten Naßreisanbau (Freisetzung von Methan, CH_4) oder auch durch die zunehmende Viehhaltung (CH_4) zunehmend in die Atmosphäre emittiert. In den nachfolgenden Kapiteln dieses Berichtes wird auf diesen Beitrag der Landwirtschaft und der Wälder ausführlich eingegangen.

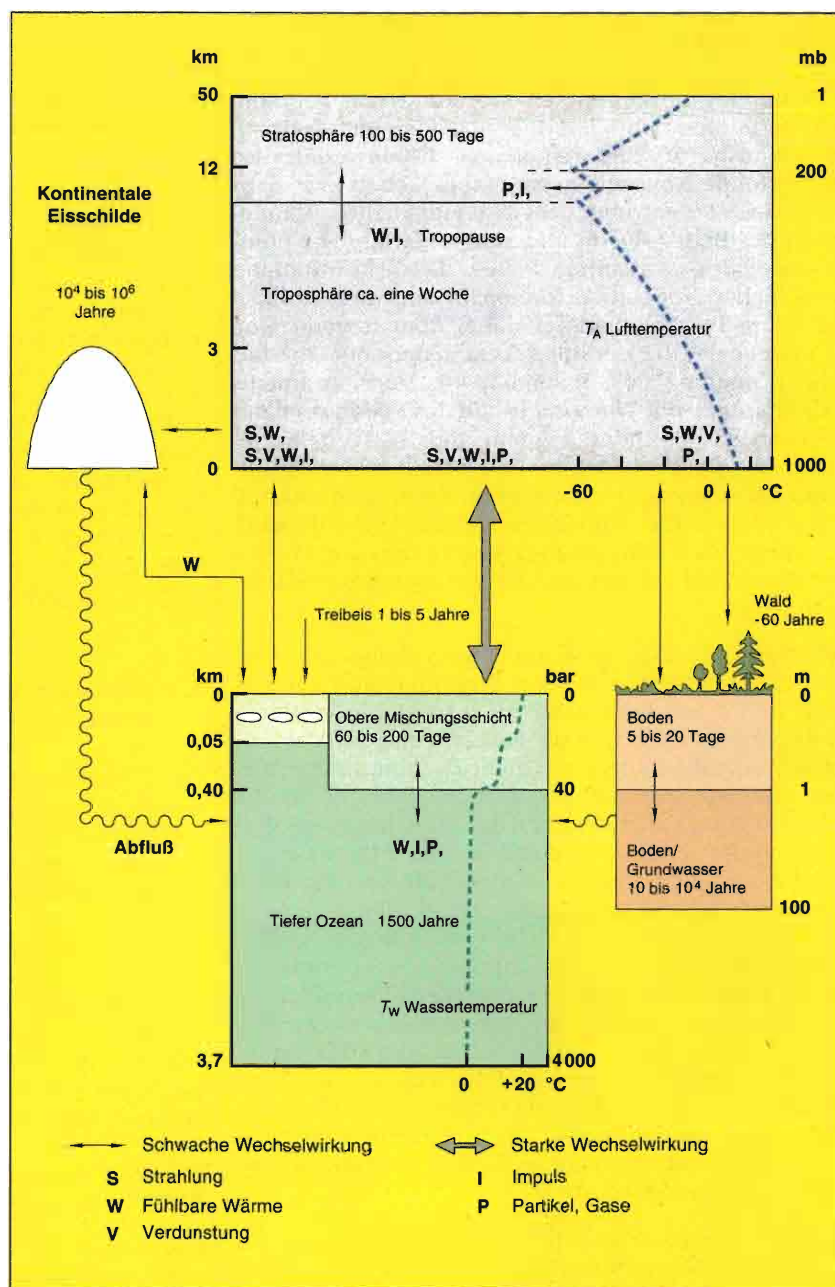


Abbildung 1.1: Kennzahlen des klimatischen Wechselwirkungssystems (nach Flohn, 1985)

Die angegebenen Zeiten sind die für das Klima charakteristischen Zeitskalen in den Untersystemen Atmosphäre, Ozeane und Landflächen. So beträgt die mittlere Verweilzeit für Partikel in der Troposphäre etwa eine Woche, die der z. B. durch hochreichende Vulkaneruptionen in die Stratosphäre eingetragenen Partikel im Mittel 100 bis 500 Tage. Dagegen sind die tieferen Schichten der Böden mit ihren Grundwasservorräten, die tieferen Schichten der Ozeane sowie die kontinentalen Eisvorkommen durch wesentlich langsamere Austausch- bzw. Umwälzvorgänge gekennzeichnet.

Die Wechselwirkung zwischen den Untersystemen geschieht durch Austausch von Strahlung, fühlbarer Wärme, latenter Wärme (Verdunstung, Kondensation), Impuls sowie durch Austausch von Partikeln und Gasen. Dabei kommt dem Austausch zwischen der Atmosphäre und den Ozeanen eine hervorragende Rolle im Klimasystem zu. So werden z. B. durch die Verdunstung von Wasser über den Ozeanen etwa 434 Billionen Tonnen Wasserdampf der Atmosphäre zugeführt, etwa 85 % der gesamten Menge verdunsteten Wassers. Zum Vergleich: Über die Flüsse werden jährlich etwa 36 Billionen Tonnen Wasser in die Ozeane transportiert (Angaben nach Dozier, 1992). Die durch die Verdunstung gebundene Wärme (latente Wärme) wird durch Kondensation in der Atmosphäre freigesetzt. Dieser Prozeß trägt wesentlich dazu bei, die strahlungsbedingten Energieverluste der Atmosphäre wieder auszugleichen.

Anthropogene Veränderung der Beschaffenheit der Erdoberfläche

Die durch die anthropogene Landnutzung bedingte Umgestaltung der Landoberflächen hat weitere, zumindest für die regionalen Klimaverhältnisse bedeutende Konsequenzen. Dabei stehen zwei Prozesse im Vordergrund. Dies sind einmal die Veränderung der Bodenalbedo und zum anderen die Veränderung des Wasserhaushaltes. Die Umwandlung natürlicher Vegetationsformen in landwirtschaftlich genutzte Flächen bedingt dabei überwiegend eine Zunahme des Rückstrahlungsvermögens der Oberfläche (Zunahme der Bodenalbedo). Darüber hinaus wird dadurch der Wasserhaushalt des Bodens und der Vegetation verändert, indem die Wasserspeicherkapazität des Systems herabgesetzt, die Verdunstungsrate vermindert sowie der oberirdische Abfluß (und damit die Bodenerosionsrate) erhöht wird. Dadurch wird dem lokalen Wasserkreislauf Wasser entzogen und der Atmosphäre weniger Wasserdampf zugeführt.

Während die Zunahme der Bodenalbedo den vom Boden absorbierten solaren Strahlungsfluß vermindert und damit tendenziell zu niedrigeren mittleren Temperaturen führt, ist die Reduzierung der Verdunstung gleichbedeutend mit einer Zunahme der mittleren Bodentemperatur, da weniger Energie für die Verdunstung aufgewendet wird. Eine geringere Verdunstungsrate kann wiederum zu einer Reduzierung des Wasserdampfanteils in der Luft und zu einer Verringerung des Bewölkungsanteils führen, die sich auf die zeitliche und räumliche Verteilung der Niederschläge auswirkt. Die Tagesamplitude der Bodentemperatur wird sich deutlich verstärken (Vergrößerung von Minimum- und Maximumtemperaturen). Zusammen mit einer möglichen Umstellung der atmosphärischen Zirkulation kann diese Entwicklung zur Desertifikation (Wüstenbildung) führen. Ein möglicher anthropogener Einfluß bei der beobachteten Ausweitung der Sahelzone wird in diesem Zusammenhang diskutiert (Dickinson, 1992).

Obwohl die unterschiedlichen Wirkungsweisen der möglichen Effekte, jeweils für sich betrachtet, vielfach relativ gut verstanden sind, lassen sich die Auswirkungen anthropogener Aktivitäten auf die gegebenen regionalen Klimaverhältnisse aufgrund der weitreichenden Interdependenzen nur mit Hilfe geeigneter Klimamodelle abschätzen. Zwei Beispiele mit jeweils sehr unterschiedlichen Konsequenzen für das Klima der Erde sind: die Vernichtung der tropischen Regenwälder sowie die Vernichtung der borealen Wälder. Dabei ist festzuhalten, daß die Vernichtung der tropischen Wälder bei ungeänderten Einschlag- bzw. Brandrodungsraten in absehbarer Zeit Wirklichkeit werden könnte (s. Abschnitt C), dagegen ist das Szenario „Vernichtung der borealen Wälder“ bisher lediglich ein Gedankenexperiment.

Bei der Vernichtung der tropischen Regenwälder ist der Eingriff in den Wasserhaushalt dieses Systems höher einzuschätzen als die Änderung der Albedo. Nach neuesten Modellstudien (Dickinson, 1991), in denen eine vollständige „Umwandlung“ des tropischen Regenwaldes im Amazonas in Grasland ange-

nommen worden ist, wird dort die Oberflächenalbedo von etwa 12 % auf Werte zwischen 17 % und 21 % zunehmen, die Verdunstung von etwa 1500 mm pro Jahr um Werte zwischen 150 mm bis 500 mm pro Jahr abnehmen und die mittlere Bodentemperatur entsprechend um 1° bis 4°C ansteigen.

Außerhalb der Tropen ist der Einfluß einer Änderung der lokalen Oberflächenbeschaffenheit auf den Wasserhaushalt geringer, da der regionale Wasserkreislauf nur in geringem Maße durch lokale Verhältnisse bestimmt wird. Demgegenüber zeigen Modellrechnungen von Bonan u. a. (1992), daß die Wälder der höheren Breiten (boreale Wälder) in den Monaten mit Schneebedeckung bei merklicher Reduzierung der mittleren Oberflächenalbedo durch erhöhte Absorption von Sonnenstrahlung zu höheren Wintertemperaturen führen. Die Modellrechnungen deuten zudem an, daß eine Vernichtung der borealen Wälder nicht nur niedrigere Wintertemperaturen, sondern auch niedrigere Sommertemperaturen zur Folge haben würde, da auch der arktische Ozean kälter würde.

1.3 Klimarelevante Spurengase — Der anthropogene Treibhauseffekt

Der Treibhauseffekt der Atmosphäre ist für das Klima der Erde von eminenter Bedeutung. Er wird zum größten Teil von nur fünf Spurengasen verursacht, die die kurzwellige Sonnenstrahlung fast ungehindert in Richtung Erdoberfläche passieren lassen, jedoch die von der Erdoberfläche emittierte Wärmestrahlung teilweise absorbieren, so daß die langwellige Ausstrahlung in den Weltraum vermindert wird. Die zur ausgeglichenen Energiebilanz notwendige Erwärmung der Oberfläche und der unteren Atmosphäre wird in grober Analogie zur Wirkung der Glasscheiben eines Treibhauses Treibhauseffekt genannt. Dieser natürliche Treibhauseffekt der Atmosphäre sorgt dafür, daß an der Erdoberfläche nicht strenger Frost herrscht, sondern im Mittel Temperaturen um etwa 15°C erreicht werden.

Die wesentlichen klimarelevanten Spurengase in einer anthropogen unbeeinflussten Atmosphäre sind Wasserdampf (H_2O), Kohlendioxid (CO_2), Ozon (O_3), Distickstoffoxid (N_2O) und Methan (CH_4). Durch anthropogene Emissionen steigen die Konzentrationen dieser Spurengase in der Atmosphäre und damit auch deren Einwirkungspotentiale auf den Strahlungshaushalt der Erde stetig weiter an. Dieser anthropogene Treibhauseffekt wird zusätzlich durch die industriell produzierten, in der natürlichen Atmosphäre nicht vorkommenden halogenierten Kohlenwasserstoffverbindungen FCKW, H-FCKW und FKW und regional durch das aufgrund anthropogener Emissionen bestimmter Vorläufersubstanzen (s. Kap. 2.1) gebildete Ozon (O_3) in der Troposphäre verstärkt sowie durch den Abbau des Ozons in der Stratosphäre regional vermindert.

Als Folge der anthropogenen Emissionen von Schwefeldioxid (SO_2), die sich in den vergangenen 100 Jahren verdreifacht haben, aber auch der ebenfalls stark angestiegenen Emissionen von Stickoxiden (NO_x) und Ammoniak (NH_3) nahm die Aerosolmasse

insbesondere in der nördlichen Troposphäre erheblich zu (Langner u. a., 1992). Damit verbunden ist eine Zunahme des in den Weltraum zurückgestreuten Sonnenlichts, wodurch die Wirkung des anthropogenen Treibhauseffekts regional vermindert, im Sommer über dem Osten der USA sowie über einigen belasteten Gebieten Europas sogar kompensiert werden kann (Kiehl u. Briegleb, 1993).

1.3.1 Volumenanteile und Treibhauspotentiale

Das wichtigste anthropogene Treibhausgas ist das Kohlendioxid (CO_2), das seit der Industrialisierung von einem mittleren Mischungsverhältnis von 275 ppmv auf heutige Werte um ca. 355 ppmv angestiegen ist, was einer Steigerung von ca. 27 % entspricht. Der heutige CO_2 -Gehalt in der Atmosphäre ist höher als zu irgendeinem Zeitpunkt der vergangenen 160 000 Jahre. Sollte sich die gegenwärtige Zunahme des atmosphärischen CO_2 -Gehalts von etwa 1,8 ppmv pro Jahr weiter fortsetzen, wird die CO_2 -Konzentration in der Mitte des nächsten Jahrhunderts einen Wert von 450 ppmv erreicht haben.

Das mittlere troposphärische Mischungsverhältnis für Methan (CH_4) lag 1991 bei 1,74 ppmv und damit um mehr als das Doppelte über dem vorindustriellen Wert von 0,7 ppmv. Derzeit wächst der CH_4 -Gehalt in der Atmosphäre um ca. 0,8 % oder ca. 0,015 ppmv pro Jahr an.

Der atmosphärische Gehalt an Distickstoffoxid (N_2O) steigt gegenwärtig (1991) mit etwa 0,8 ppbv oder 0,3 % pro Jahr an. Das mittlere troposphärische Mischungsverhältnis lag 1991 mit 311 ppbv um 8 % über dem vorindustriellen Wert.

Die seit den 30er Jahren dieses Jahrhunderts verwendeten halogenierten Kohlenwasserstoffe sind nach photochemischer Spaltung nicht nur für den stratosphärischen Ozonabbau verantwortlich (s. Kap. 2.1), sondern gehören unzerstört zu den klimawirksamsten Spurengasen. Das mittlere Mischungsverhältnis der beiden wichtigsten Verbindungen, FCKW 11 und FCKW 12, lag im Jahr 1991 bei 280 bzw. bei 484 pptv bei einer Anstiegsrate von 4 % pro Jahr. Diese Anstiegsrate hat sich in den beiden letzten Jahren deutlich verringert (Elkins u. a., 1993). In der Südhemisphäre ist bereits eine Stabilisierung der FCKW 11-

und FCKW 12-Konzentrationen festgestellt worden (Schul u. a., 1993). Nach der 4. Vertragsstaatenkonferenz des Montrealer Protokolls soll der Ausstieg aus den vollhalogenierten Kohlenwasserstoffen bis Ende 1995 erfolgen, so daß dann mit einer Abnahme der Konzentrationen gerechnet werden kann. Dafür kommen die chemisch verwandten Ersatzstoffe (H-FCKW, z. B. H-FCKW 22 und FKW, z. B. R 134a) vermehrt zum Einsatz, die zwar ein geringeres Ozonzerstörungspotential aufweisen, aber in ähnlicher Weise klimawirksam sind.

In den letzten 20 Jahren hat der troposphärische Ozongehalt in der freien Troposphäre in den mittleren Breiten der Nordhemisphäre um etwa 1 % pro Jahr zugenommen (WMO, 1992). Die gegenwärtig (1991) in Reinluftgebieten bodennah gemessenen Werte schwanken im Mittel zwischen 30 bis 50 ppbv und übersteigen damit den vorindustriellen Wert um mehr als das Doppelte. Der Anstieg der Ozonkonzentration wird auf die steigenden Emissionen der Ozon-Vorläufersubstanzen Stickoxide (NOX), Kohlenmonoxid (CO), Methan (CH_4) und höherer flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) zurückgeführt, die durch photochemische Reaktionen zu einer verstärkten Bildung von Ozon führen.

Treibhauspotentiale

Das Treibhauspotential eines atmosphärischen 'Spurengases ist ein Maß für den Beitrag dieses Gases zur Abschirmung der von der Erdoberfläche ausgestrahlten Wärmestrahlung. Es wird relativ zum CO_2 -Treibhauspotential angegeben, wobei die jeweilige Absorptionswirksamkeit einer einmalig freigesetzten Spurengasmasse von der momentanen chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre abhängig ist. Das Treibhauspotential eines Spurengases ist besonders hoch, wenn es bei Wellenlängen absorbiert, in denen die Atmosphäre aufgrund ihrer natürlichen Zusammensetzung sehr transparent ist (Wellenlängenbereich zwischen 8 und 13 μm). Das Treibhauspotential ist weiterhin wegen der unterschiedlich langen mittleren Verweilzeiten der Spurengase in der Atmosphäre vom zeitlichen Betrachtungshorizont abhängig.

In Tab. 1.1 sind die Treibhauspotentiale für die wichtigsten klimarelevanten Spurengase für drei ver-

Tabelle 1.1

Treibhauspotentiale verschiedener Spurengase nach IPCC (1992)

Spurengas	mittlere Verweilzeit	direkter Treibhauseffekt			indirekter Treibhauseffekt
		20 Jahre	100 Jahre	500 Jahre	
CO_2	120	1	1	1	—
CH_4	10,5	35	11	4	> 0
N_2O	132	260	270	170	unbestimmt
CO	Monate	—	—	—	> 0
VOC	Tage bis Monate	—	—	—	> 0
NO_x	Tage	—	—	—	> 0

schiedene Betrachtungszeiträume (20, 100 und 500 Jahre) wiedergegeben. So ist z. B. die Treibhauswirkung von CH_4 , über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren gesehen, etwa 35 mal stärker als die des CO_2 . Dieser Wert fällt um den Faktor 3 ab, wenn der Betrachtungszeitraum auf 100 Jahre verlängert wird. Dieses Beispiel dokumentiert, daß das Treibhauspotential eines Spurengases ganz wesentlich von dem Verhältnis seiner mittleren atmosphärischen Verweilzeit relativ zu der Verweilzeit von CO_2 abhängig ist; d. h. je kürzer die Verweilzeit eines Gases im Vergleich zu CO_2 ist, desto stärker fällt das Treibhauspotential mit Zunahme des Betrachtungshorizonts gegenüber CO_2 ab. Da die Verweilzeit des anthropogenen CO_2 nicht genau bekannt ist, sind die Angaben in Tab. 1.1 nur als grobe Relationen zwischen den verschiedenen Gasen zu betrachten.

Verschiedenen Spurengasen wird (auch) ein indirektes Treibhauspotential zugeschrieben, weil sie bei ihrer chemischen Umwandlung in der Atmosphäre zur Bildung anderer klimarelevanter Spurengase beitragen. Die Wirkungsweise dieser indirekten Treibhauspotentiale — den anthropogenen Treibhauseffekt verstärkend oder aber diesem entgegenwirkend — ist vielfach nur qualitativ bekannt. Jedoch sind quantitative Angaben noch unsicher. Ein Beispiel für einen indirekten Treibhauseffekt ist Methan, das nicht nur direkt klimawirksam ist, sondern durch seine Beteiligung an der Bildung des troposphärischen Ozons sowie des stratosphärischen Wasserdampfes den Treibhauseffekt verstärkt. Schätzungen dieses, den direkten Treibhauseffekt des Methans verstärkenden Anteils liegen zwischen etwa 30 % (Lelieveld u. Crutzen, 1992) und 100 % (IPCC, 1992) des direkten Treibhauspotentials.

Ein indirektes Treibhauspotential besitzen auch die Spurengase CO , VOC und NOX , die zur Bildung von Ozon in der Troposphäre beitragen. Zur Bestimmung des Treibhauspotentials des troposphärischen Ozons ist eine räumlich wie zeitlich differenzierte Betrachtung erforderlich, da sowohl die Vorläufer als auch das Ozon selbst relativ geringe mittlere Verweilzeiten aufweisen und damit die horizontale wie auch die vertikale Ozon-Verteilung in der Atmosphäre — im Gegensatz zu allen übrigen in Tab. 1.1 aufgeführten Spurengasen — starken räumlichen Gradienten und ebenfalls starken zeitlichen Variationen unterworfen sind. Eine generell akzeptierte globale Abschätzung des Einflusses erhöhten troposphärischen Ozons gibt es noch nicht. Das troposphärische Ozon bestimmt zudem die OH -Konzentration der Troposphäre, die ihrerseits wieder Einfluß nimmt auf die Konzentration und Verteilung anderer direkt und indirekt wirksamer Treibhausgase.

Weiterhin ist Ozon insofern noch klimarelevant, als der anthropogen ausgelöste Ozonverlust in der unteren Stratosphäre (s. Kap. 2.1) eine Zunahme der

langwelligen Ausstrahlung des Systems Erdoberfläche/Troposphäre bewirkt und damit tendenziell zu einer Abkühlung der bodennahen Luftschichten führt. Dieser Effekt weist den Hauptverursachern für den stratosphärischen Ozonabbau, den vollhalogenierten Kohlenwasserstoffen (z. B. FCKW 11 und 12), ein indirektes, negatives Treibhauspotential zu. Diese durch die Emissionen verschiedener anthropogener Spurengase bedingte Änderung der Ozonverteilung in der gesamten Atmosphäre bedeutet eine neuartige, breiten- und höhenabhängige Störung des gesamten Strahlungshaushaltes der Erde, deren Auswirkung auf das Klima derzeit noch nicht abschließend bewertet werden kann.

Der Beitrag der einzelnen Treibhausgase am anthropogenen Treibhauseffekt gemittelt über die letzten 10 Jahren wird wie folgt abgeschätzt (EK, 1991a): CO_2 50 %, CH_4 13 %, FCKW 24 %, N_2O 5 % sowie indirekte Effekte durch Zunahme des stratosphärischen Wasserdampfgehaltes und des troposphärischen Ozons zusammen mit 8 %.

1.3.2 Ursachen und Verursacher — klimarelevante Emissionen im Landwirtschafts- und Waldbereich

Die Emissionen klimarelevanter Spurengase, die den Bereichen Landwirtschaft und Wälder zuzurechnen sind, werden ausführlich in den Abschnitten B und C behandelt. An dieser Stelle soll lediglich eine grobe Einordnung dieser Emissionen in Relation zu der Emission aus anderen Quellen erfolgen.

In Tab. 1.2 sind die derzeitigen Anteile der verschiedenen Verursacherbereiche am globalen anthropogenen Treibhauseffekt zusammengefaßt. Danach ist die Rodung der Wälder mit etwa 15 % (überwiegend durch die Emissionen der Spurengase CO_2 , N_2O , CH_4 und CO) sowie die Landwirtschaft mit ebenfalls 15 % (überwiegend durch die Emissionen der Spurengase CH_4 , N_2O und CO_2) am anthropogenen Treibhauseffekt beteiligt.

Der durch die Rodung der Wälder freigesetzte CO_2 -Anteil entspricht etwa 25 % der gesamten anthropogenen CO_2 -Emissionen (s. Kap. 1.3.3). Darüber hinaus ist der Bereich Landwirtschaft für knapp 60 % aller anthropogenen CH_4 -Emissionen (jährliche Gesamtsumme etwa 360 Mio. t CH_4) und ebenfalls für etwa 60 % aller anthropogenen N_2O -Emissionen (jährliche Gesamtsumme etwa 3,5 Mio. t N) verantwortlich (abgeschätzt nach Angaben des IPCC, 1992). Die in der Bundesrepublik Deutschland landwirtschaftlich bedingten CH_4 - und N_2O -Emissionen werden für das Jahr 1990 auf 2,05 Mio. t CH_4 bzw. 0,075 Mio. t N_2O geschätzt, was in beiden Fällen in etwa einem Drittel der gesamten anthropogenen Emissionen entspricht (BMU, 1993).

Tabelle 1.2

**Anteile der verschiedenen Verursacherbereiche weltweit
am zusätzlichen, anthropogenen Treibhauseffekt¹⁾**

Verursachergruppen	Anteile (grob gerundet)	Aufteilung auf die Spurengase (grob gerundet)	Ursachen
Energie einschließlich Verkehr	50 %	40 % CO ₂ , 10 % CH ₄ und O ₃ (O ₃ wird durch die Vorläufer- substanzen NO _x , CO und NMVOC ge- bildet)	Emissionen der Spurengase aufgrund der Nutzung der fossilen Energieträger Kohle, Erdöl und Erdgas sowohl im Umwandlungsbereich, insbesondere bei der Strom- und Fernwärmeerzeugung sowie Raffinerien, als auch in den Endenergiesektoren, Haushalte, Kleinverbrauch (Handwerk, Dienstleistungen, öffentliche Einrichtungen etc.), Industrie und Verkehr
Chemische Produkte (FCKW, Halone u. a.) ²⁾	20 %	20 % FCKW Halone etc.	Emissionen der FCKW, Halone etc.
Vernichtung der Tropen- wälder	15 %	10 % CO ₂ , 5 % weitere Spu- rengase, ins- besondere N ₂ O, CH ₄ und CO	Emission durch die Verbrennung und Verrottung tropischer Wälder einschließlich verstärkter Emissionen aus dem Boden
Landwirtschaft	15 %	15 % in erster Linie CH ₄ , N ₂ O und CO ₂	Emissionen aufgrund von: — anaeroben Umsetzungsprozessen (CH ₄ durch Rinderhaltung, Reisfelder etc.) — Düngung (N ₂ O)

(CO₂ = Kohlendioxid; CH₄ = Methan; NO_x = Stickoxide; CO = Kohlenmonoxid; NMVOC = flüchtige organische Verbindungen [außer Methan]; FCKW = Fluorchlorkohlenwasserstoffe; N₂O = Distickstoffoxid = Lachgas)

¹⁾ Im Hinblick auf die Spannbreite der Anteile der einzelnen Spurengase am zusätzlichen Treibhauseffekt und auf die großen Unsicherheitsbereiche bei der Zuordnung der einzelnen Treibhausgase zu den verschiedenen Bereichen können gegenwärtig nur grob gerundete Näherungswerte angegeben werden. Die hier angegebenen Anteile stimmen im Rahmen der vorhandenen Spannbreiten und Unsicherheiten mit den Werten des IPCC überein.

²⁾ FCKW, Halone und andere Verbindungen, die sowohl zu einem Abbau der Ozonschicht in der Stratosphäre als auch zum zusätzlichen Treibhauseffekt beitragen.

1.3.3 Der CO₂-Kreislauf

Im Gegensatz zu anderen klimarelevanten Spurengasen unterliegt das CO₂ einem besonders komplexen Kreislauf, an dem die Atmosphäre, die terrestrische und marine Biosphäre, die Böden der Landflächen, die ozeanische Deckschicht, die tieferen Schichten der Ozeane inkl. der ozeanischen Sedimente sowie die Erdkruste beteiligt sind (Abb. 1.2). Der rasche, anthropogene Anstieg der CO₂-Emissionen in den letzten zweihundert Jahren hat dabei zu Veränderungen der

CO₂-Flüsse vor allem zwischen den relativ schnell austauschenden Reservoirs Atmosphäre, Ozeandeckschicht sowie Biosphäre geführt. Dabei verblieben lediglich etwa 40 % des gegenüber dem natürlichen Kreislauf zusätzlich emittierten Kohlendioxids in der Atmosphäre, der Hauptteil wurde von den Ozeanen und von der Biosphäre aufgenommen (Siegenthaler u. Sarmiento, 1993). Die Abb. 1.2 gibt die anthropogenen jährlichen Kohlenstoffflüsse, Mittelwerte für den Zeitraum 1980 bis 1989, an (IPCC, 1992).

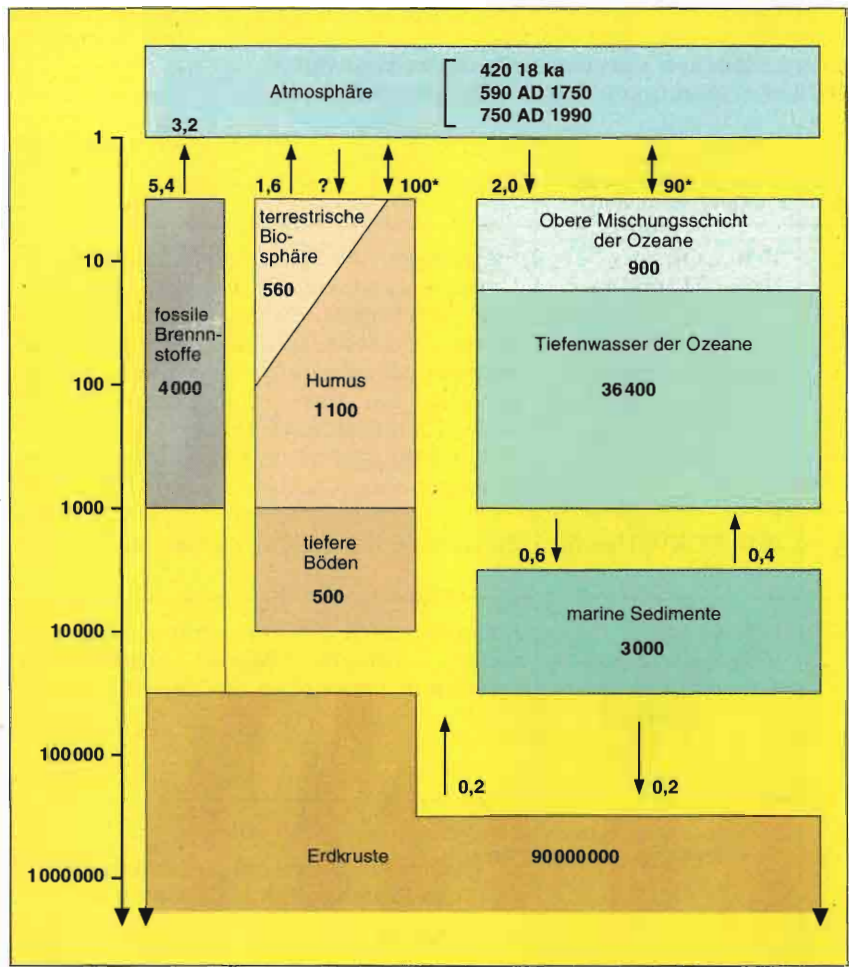


Abbildung 1.2: Der Kohlenstoff-Kreislauf
Die verschiedenen Reservoirs sind vertikal bzgl. der Zeitspanne angeordnet, über der sie den CO₂-Gehalt der Atmosphäre beeinflussen. Alle Angaben sind in Gt C bzw. Gt C / Jahr. Der gegenseitige jährliche Austausch zwischen den Reservoirs ist durch Pfeile gekennzeichnet. Die gestrichelten Pfeile zeigen die anthropogen ausgelösten Kohlenstoffflüsse, Mittelwerte für den Zeitraum 1980 bis 1989, an (IPCC, 1992). Während der Austausch zwischen Atmosphäre und Ozean relativ gut abgeschätzt werden kann, sind die Angaben für den Austausch zwischen Atmosphäre und Biosphäre noch mit einiger Unsicherheit behaftet.
Quellen: Sundquist (1993), IPCC (1992), Siegenthaler u. Sarmiento (1993)*

Die Tab. 1.3 faßt den heutigen Kenntnisstand über die zeitliche Entwicklung des CO₂-Haushaltes in den letzten mehr als 200 Jahren zusammen (Sundquist, 1993). Danach wurde der Anstieg der atmosphärischen CO₂-Konzentration vor 1850 nahezu ausschließlich durch die Umwandlung von Waldflächen in landwirtschaftlich oder anderweitig genutzte Flächen hervorgerufen. Die Ausweitung der landwirtschaftlichen Nutzflächen zu Lasten der Waldflächen erfolgte zunächst vor allem in Europa, den USA und Teilen Ostasiens. Innerhalb der letzten 100 Jahre sind dagegen vor allem die Tropen betroffen. Im Gegensatz dazu nahm die Waldfläche in den meisten Industrieländern in den letzten Jahren wieder deutlich zu. Nicht zuletzt deshalb blieb die durch den Landnutzungswandel freigesetzte Kohlenstoffmenge seit dem

18. Jahrhundert etwa konstant. Es ist jedoch dabei zu beachten, daß die Schätzungen der durch Landnutzung freigesetzten CO₂-Mengen nicht ausreichend genau sind, da die entscheidenden Faktoren wie z. B. die Größe der umgewandelten Flächen oder die Art der neuen Landnutzung nicht hinreichend genau bestimmbar sind.

Als Quelle des anthropogenen CO₂ dominiert seit etwa der Mitte dieses Jahrhunderts die Verbrennung fossiler Brennstoffe. Die zwischen 1750 und 1990 dadurch emittierte CO₂-Menge beträgt 217 Mrd. t C, was etwa 57 % der gesamten anthropogenen CO₂-Emissionen seit 1750 entspricht. Der jährliche Anstieg der „fossilen“ CO₂-Emissionen verlief insbesondere in den vergangenen 40 Jahren exponentiell. Die pro

Tabelle 1.3

**Entwicklung des CO₂-Haushalts in den letzten 240 Jahren
(Sundquist, 1993)**

Reservoir	Jahr			
	1750 bis 1850	1850 bis 1950	1950 bis 1990	1750 bis 1990
Quellen				
fossile Brennstoffe	1	61 ± 6	155 ± 18	217 ± 22
Landnutzung	40 ± 12	69 ± 21	53 ± 16	162 ± 49
gesamt	41 ± 12	130 ± 22	208 ± 23	379 ± 4
Senken				
Atmosphäre	21	50	89	160
Ozeane	20 16	63 49	72 63	155 118
gesamt	41 37	113 99	161 142	315 278
Differenz	0 4	17 31	47 66	64 101

Alle Angaben in GtC.
 Differenz = Quellen (gesamt) minus Senken (gesamt). Weitere Erläuterungen im Text.
 Für die Senkenstärke der Ozeane gibt Sundquist jeweils zwei Abschätzungen an, wobei die linke Zahl auf Untersuchungen von Keeling (1989) und die rechte Zahl auf Untersuchungen von Sarmiento, u. a. (1992) beruht.

Jahr emittierte CO₂-Menge, die durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe freigesetzt wird, beträgt zur Zeit ca. 6 Mrd. t C. Ihr prozentualer Anteil stieg damit auf über 75 %.

Das anthropogen emittierte CO₂ verteilt sich auf die Atmosphäre sowie die terrestrische Biosphäre und die Ozeane. Während der CO₂-Zuwachs in der Atmosphäre für den Zeitraum 1750 bis 1990 von 160 Mrd. t C sehr gut belegt ist, sind die Angaben über die durch die Ozeane aufgenommene CO₂-Menge verhältnismäßig unsicher. Die Tab. 1.3 enthält dazu zwei Abschätzungen von Sundquist (1993), die auf Angaben von Keeling u. a. (1989) sowie Sarmiento u. a. (1992) beruhen. Danach liegt die durch die Ozeane in den letzten 240 Jahren aufgenommene CO₂-Menge zwischen 118 und 155 Mrd. t C. Die durchschnittliche CO₂-Aufnahmerate der Ozeane in den letzten zehn Jahren wird auf 2 ± 0,8 Mrd. t C pro Jahr geschätzt (IPCC, 1992). Abschätzungen, nach denen das CO₂-Aufnahmevermögen der Ozeane unterhalb von 1 Mrd. t C pro Jahr liegen sollte (Tans u. a., 1990), konnten durch neuere Untersuchungen (Sarmiento u. Lundquist, 1992; Robertson u. Watson, 1992; Enting, u.a, 1993; Keeling u. Shertz, 1992) nicht bestätigt werden.

Stellt man für die angegebenen Zeitabschnitte in Tab. 1.3 die gesamte CO₂-Bilanz auf, so übersteigen die anthropogenen CO₂-Emissionen die von den beiden Reservoiren Atmosphäre und Ozeane aufgenommene CO₂-Menge. Dieses Ungleichgewicht wächst mit der Zeit. Setzt man voraus, daß die abgeschätzten CO₂-

Flüsse hinreichend genau bestimmt sind — im Fall der durch Landnutzung freigesetzten Menge gilt dies nur sehr eingeschränkt — so muß ein wesentlicher Anteil des anthropogen emittierten CO₂ durch die terrestrische Biosphäre in Form von organischem Kohlenstoff fixiert werden. Dabei kann der sogenannte „CO₂-Düngeeffekt“ eine Rolle spielen (s. Kap. 3.1.2.1 Abschnitt B). Gegenwärtig wird abgeschätzt, daß die durch die Biosphäre aufgenommene CO₂-Menge in etwa der durch die Landnutzung freigesetzten CO₂-Menge entspricht. Das IPCC (1992) schätzt die durch Landnutzung freigesetzte CO₂-Rate für die letzten 10 Jahre auf 1,6 ± 1,0 Mrd. t C pro Jahr.

1.4 Klimavorhersage

Der anthropogene Treibhauseffekt verursacht Umstellungen im Klimasystem, deren Ausmaße und Auswirkungen aufgrund der vielfältigen und komplexen Wechselbeziehungen innerhalb des Klimasystems nur durch Klimamodelle bestimmt werden können. Die besten Klimamodelle sind in der Lage, die wesentlichen Merkmale des heutigen Klimas zuverlässig zu beschreiben (Gates, 1992; Roeckner u. a., 1992; McFarlane et. al., 1992). Sie erlauben darüber hinaus Aussagen zur künftigen Entwicklung des globalen Klimas. Große Unsicherheiten liegen allerdings noch im Bereich der regionalen Klimavorhersage.

Im einzelnen lassen die Klimamodelle die folgenden Aussagen zu:

- Die mit einer Verdopplung des äquivalenten CO₂-Gehalts¹⁾ nach Erreichen des Gleichgewichtszustands verbundene globale Erwärmung beträgt etwa 2,5 °C, bei einem Unsicherheitsbereich von 1,5 bis 4,5 °C (IPCC, 1992). Die relativ große Spannweite resultiert wesentlich aus der unterschiedlichen Einschätzung des Bewölkungseinflusses in den verschiedenen Klimamodellen (Cess u. a., 1989)²⁾.
- Setzt man einen stetigen, mittleren Anstieg der äquivalenten CO₂-Konzentration von 1 % pro Jahr für die kommenden Jahre voraus — dies entspricht etwa dem jetzigen Trend — so prognostizieren gekoppelte Ozean-Atmosphäre-Modelle einen mittleren Anstieg der global und jahreszeitlich gemittelten Lufttemperatur in Bodennähe von 0,3 °C pro Jahrzehnt. Der Unsicherheitsbereich liegt zwischen 0,2 und 0,5 °C pro Jahrzehnt (IPCC 1990).
- Neuere Abschätzungen für den zu erwartenden Temperaturanstieg, die u. a. mit leicht verminderten Konzentrationszuwachsszenarien und mit Hilfe nichtgekoppelter Modelle angestellt worden sind, liegen bei einer Erwärmung von 0,25 °C pro Jahrzehnt (IPCC 1992). Der Meeresspiegel wird danach im Mittel um 4,8 cm pro Jahrzehnt steigen.
- Der Anstieg der oberflächennahen Lufttemperatur wird über den Landflächen stärker ausfallen als über den Ozeanen.
- Die Temperatur wird in der bodennahen Troposphäre steigen, in der oberen Stratosphäre dagegen sinken.
- Durch die mit der Erwärmung verbundene, höhere Verdunstung von Oberflächenwasser entsteht eine Tendenz zu allgemein zunehmenden Niederschlägen. Dies gilt vornehmlich für die höheren Breiten beider Hemisphären, in der Nordhemisphäre im Winter auch für die mittleren Breiten. Im Sommer der nördlichen mittleren Breiten wird allgemein eine Abnahme der Niederschläge erwartet, was eine Verringerung der Bodenfeuchtigkeit und nachteilige Auswirkungen für das Pflanzenwachstum haben dürfte.

1.5 Erkennbare Klimaänderungstendenzen

Der beobachtete Anstieg der globalen bodennahen Durchschnittstemperatur liegt mit etwa 0,5 °C in 100 Jahren gerade noch im Bereich der natürlichen Schwankungsbreite des Klimas und ist deshalb nicht eindeutig der Zunahme der Konzentrationen der klimarelevanten Spurengase in der Atmosphäre zuzuordnen. Diese natürliche Schwankungsbreite ist durch eine Reihe von internen und externen Einflußfaktoren bedingt. Es ist nicht auszuschließen, daß der Einfluß des anthropogenen Treibhauseffektes zur Zeit noch durch die Wirkung anderer Einflußfaktoren überlagert bzw. maskiert wird und deshalb noch nicht in vollem Umfang zum Tragen kommt. Hinzu kommt, daß das Klimasystem, insbesondere durch die große Wärmekapazität der Ozeane, zeitlich verzögert auf die Zunahme der atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen reagiert und deshalb erst ein Teil der bereits induzierten Klimaänderung wirksam geworden ist.

Tab. 1.4 zeigt einen größenordnungsmäßigen Vergleich der Temperaturänderungspotentiale einiger Einflußfaktoren für die vergangenen sowie die kommenden 100 Jahre. Demnach sind zwei anthropogene Einflußfaktoren unterschiedlichen Vorzeichens im nächsten Jahrhundert die wesentlichsten. Die Wärmeabstrahlung behindernden Treibhausgase haben das größte Erwärmungspotential und die Sonnenstrahlung zurückstreuenden und die Luft trübenden Aerosolteilchen das größte Abkühlungspotential. Bleibt es beim gegenwärtigen Anstieg der Konzentrationen klimarelevanter Spurengase, so wird der anthropogene Treibhauseffekt wegen der Akkumulation der langlebigen Treibhausgase CO₂, N₂O, FCKW und CH₄ in den kommenden Jahrzehnten unser zukünftiges Klima dominieren.

Globale Klimaänderungen können sich regional sehr unterschiedlich auswirken. Dies gilt insbesondere für die mittleren Breiten der Nordhemisphäre, die sich durch große Wechselhaftigkeit des Wetters auszeichnen. Ein Beispiel geben die Abbildungen 1.3 und 1.4, die Karten der mittleren Veränderung der bodennahen Lufttemperatur bzw. des Niederschlages für Europa in den letzten 100 Jahren zeigen (Schönwiese u. a., 1993). Trotz starker regionaler Unterschiede sind einige generelle Tendenzen erkennbar: So ist in den letzten 100 Jahren in den Wintermonaten fast überall eine leichte Erwärmung mit Werten zwischen 0,5 bis 1,0 °C festzustellen, dagegen haben sich die Temperaturen in den Sommermonaten kaum verändert. In den Übergangsjahreszeiten ist eine deutliche Abnahme der Niederschläge im westlichen und mittleren Mittelmeergebiet erkennbar. In den übrigen Regionen Europas, insbesondere in West- und Nordeuropa haben die Niederschläge, mit Ausnahme der Sommermonate, allgemein zugenommen. Betrachtet man lediglich die letzten 30 Jahre, so haben sich in Deutschland die Trends hin zu höheren Wintertemperaturen (+1,5 °C) bzw. hin zu trockeneren Sommermonaten (–30 mm Niederschlag) verstärkt (Schönwiese u. a., 1993).

¹⁾ Der sogenannte äquivalente CO₂-Gehalt berücksichtigt neben dem CO₂ auch alle übrigen klimarelevanten Spurengase.

²⁾ Zur Validation des Wolkeneinflusses in Klimamodellen geeignete Satellitenmessungen stehen erst seit sehr kurzer Zeit zur Verfügung (Ramanathan u. a., 1989, Harrison u. a., 1990, Rieland u. Stuhlmann, 1993). Die ersten Vergleiche zwischen Modellergebnissen und diesen Messungen zeigen bereits eine gute Übereinstimmung in der Einschätzung des Wolkeneinflusses unter heutigen Klimabedingungen (Kiehl u. Ramanathan, 1990; Roeckner u. a., 1991, Graßl, 1993). Die neuesten Auswertungen von Satellitendaten deuten auf eine zumindest positive, d. h. den anthropogenen Treibhauseffekt unterstützende, betragsmäßig allerdings noch unbestimmte Rückkopplung der Bewölkung hin (Tselioudis u. a., 1992; Tselioudis u. Rossow, 1993).

Lufttemperatur, Trend (Grad C)

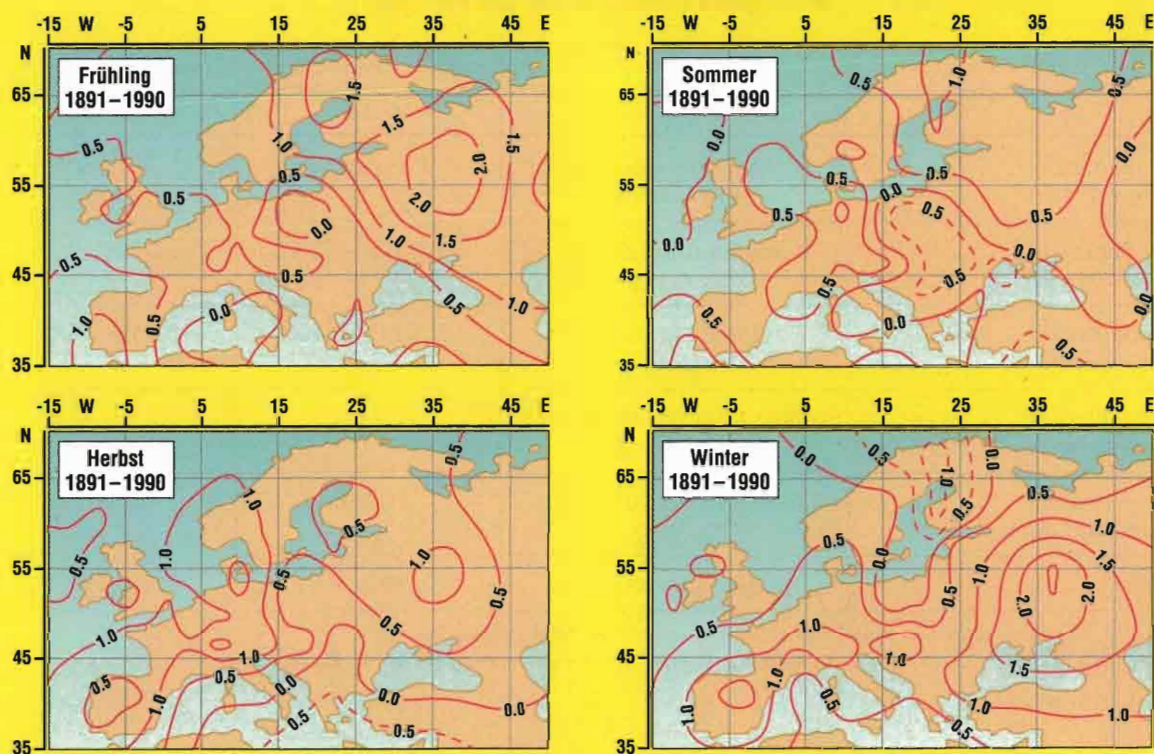


Abbildung 1.3: Veränderung der bodennahen Lufttemperatur für Europa in den letzten 100 Jahren (Schönwiese u. a., 1993) gestrichelte Linien (negative Werte): Temperaturabnahme, durchgezogene Linien (positive Werte): Temperaturzunahme

Niederschlag, Trend (mm)

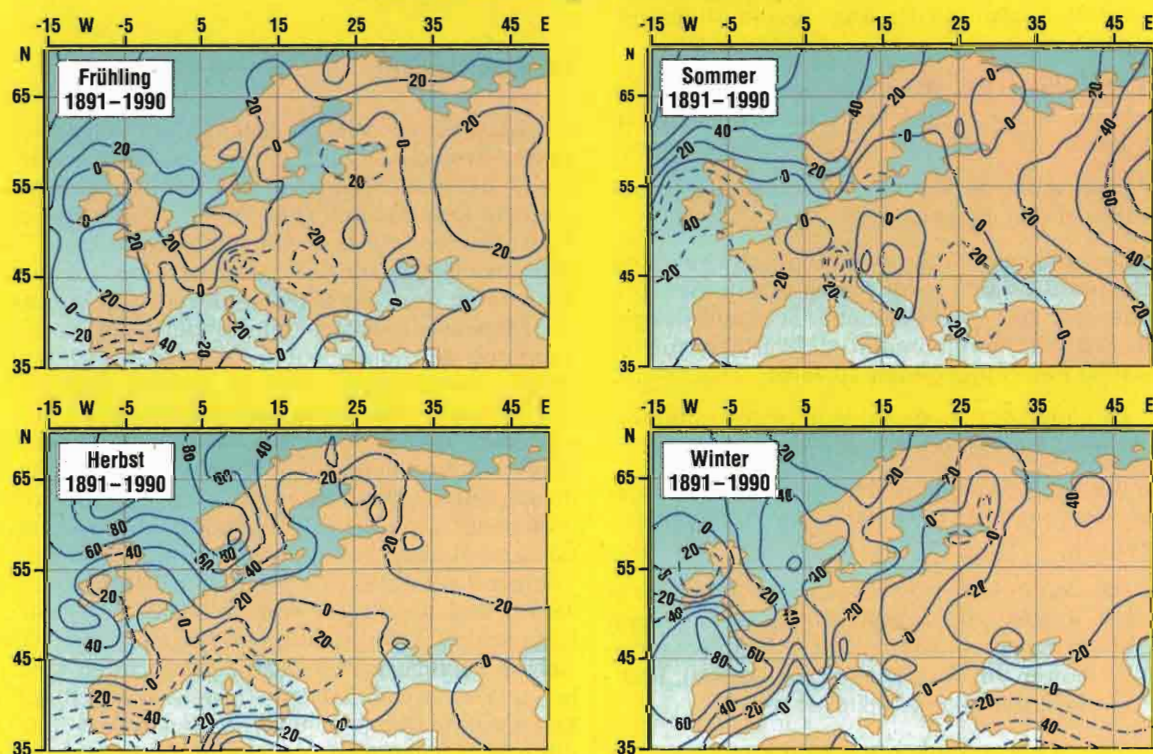


Abbildung 1.4: Veränderung des Niederschlags für Europa in den letzten 100 Jahren (Schönwiese u. a., 1993) gestrichelte Linien (negative Werte): Niederschlagsabnahme, durchgezogene Linien (positive Werte): Niederschlagszunahme

Charakteristika der wichtigsten Einflußgrößen auf die globale Mitteltemperatur

Klimaparameter	Eigenschaften	Temperaturänderungs- potential in den letzten 100 Jahren	Temperaturänderungs- potential in den nächsten 100 Jahren
anthropogener Treibhauseffekt	global langanhaltend weiter wachsend	0,5 bis 1°C	→ +2,5°C
anthropogener Aerosolzuwachs	regional kurzlebig	-0,5 bis -0,2°C	-0,5 bis -0,2°C
Sonnenaktivität 11-Jahreszyklus	global (11 Jahre) wechselnd	-0,1 bis +0,1°C	-0,1 bis +0,1°C
Sonnenaktivität Veränderung der Zyklenlänge	global (100 bis 200 Jahre) wechselnd	≤ 0,1°C	-0,2 bis +0,2°C
hochreichende Vulkaneruptionen	global (1 bis 10 Jahre)	-0,3°C	-0,3°C
El Niño	global (1 bis 2 Jahre)	+0,3°C	+0,3°C

Legende: →: strebt gegen einen bestimmten Wert; <, >: kleiner oder größer als
Quellen: IPCC (1990), Schlesinger u. Ramankutty (1992), Schönwiese (1992), Wigley u. Raper (1992)

Weitere Indizien für eine bereits beginnende globale Klimaänderung sind:

- (1) Das Auftreten der sechs wärmsten Jahre der letzten 130 Jahre innerhalb der letzten 10 Jahre
- (2) Die Verminderung des mittleren Tagesganges der Temperatur aufgrund des Anstiegs der Minimumtemperaturen
- (3) Der Anstieg der Oberflächentemperaturen in großen Bereichen der tropischen Ozeane um 0,5 °C in den letzten 50 Jahren
- (4) Die Erwärmung der mittleren Troposphäre, insbesondere in den Tropen
- (5) Die Zunahme der mittleren Windgeschwindigkeit in mittleren Breiten aufgrund einer signifikanten Vertiefung der quasi-stationären Tiefdruckgebiete in den mittleren Breiten der Nordhemisphäre während der vergangenen 40 Jahre
- (6) Die Zunahme der Niederschläge in den mittleren und hohen Breiten um 5 % seit 1950
- (7) Die drastische Abnahme der Masse der Gebirgsgletscher um z. B. etwa 50 % seit 1850 in den Ostalpen
- (8) Der Anstieg des Meeresspiegels von 10 bis 20 cm in den letzten 100 Jahren (IPCC, 1990), nach neueren Untersuchungen allein in den vergangenen 50 Jahren um etwa 9 bis 12 cm (Barnett, 1988, Peltier u. Tushingham, 1989)

Die Punkte (3) bis (5) deuten auf eine Intensivierung der allgemeinen Zirkulation hin, die ursächlich mit der raschen Erwärmung der tropischen und subtropischen Atmosphäre zusammenhängt. Dieser Effekt ist

auch in den neuesten Modellrechnungen zu erkennen. Erst zum Zeitpunkt der äquivalenten CO₂-Verdopplung wird die Erwärmung in den polaren Zonen stärker sein als in den Tropen. In einigen Modellen ist dann die Arktis im Sommer nahezu eisfrei (z. B. Boer u.a, 1992).

1.6 Quintessenz

Der wissenschaftliche Sachstand über den anthropogenen Treibhauseffekt mit seinen Folgen für das Klima der Erde hat sich seit dem 3. Bericht der Enquete-Kommission (EK, 1991) weiter gefestigt. Setzt sich der Anstieg der atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen aufgrund der vielfältigen Aktivitäten des Menschen weiter fort, ist bereits vor der Mitte des nächsten Jahrhunderts mit einer Verdopplung des äquivalenten CO₂-Gehalts gegenüber dem vorindustriellen Wert zu rechnen. Die globale Durchschnittstemperatur wird dann gegen Ende des nächsten Jahrhunderts um etwa 3 °C über dem heutigem Wert liegen, wobei jedoch die Unsicherheit dieser Angabe wie bisher mit 2 bis 5 °C Erwärmung groß bleibt. Ein solcher Temperatursprung ist von der Größenordnung her gesehen vergleichbar mit der Temperaturdifferenz zwischen der Eiszeit vor 18 000 Jahren und der jetzigen Warmzeit (4 bis 5 °C), mit dem Unterschied daß die anthropogen ausgelöste Änderung des Klimas weitaus schneller eintreten wird. Die in der Wissenschaft, aber noch mehr in der Öffentlichkeit geführte Debatte der vergangenen zwei Jahre um die wissenschaftliche Absicherung der Zahlenangaben zur anthropogenen globalen Erwärmung hat keine Argumente für eine Revisison der Werte geliefert.

Angaben zum genauen zeitlichen Ablauf der Klimaänderung und zu den möglichen regionalen Auswirkungen sind noch unsicher, da weder Analogien aus der Klimageschichte existieren, noch die Modellrechnungen eine ausreichende Güte erreicht haben. Angesichts der großen Komplexität des Klimasystems sind regionale wie globale Überraschungen sicher. Regionale Klimaänderungstendenzen können vom mittleren Klimatrend abweichen. Und: Der möglichen

Veränderung der Extrema kommt eine größere Bedeutung zu als der Änderung der mittleren Klimabedingungen.

Diese anthropogen ausgelöste Änderung des globalen Klimas wird erhebliche, nicht alle Regionen gleichermaßen betreffende ökologische und sozioökonomische Auswirkungen haben, deren genaue Ausmaße heute noch nicht hinreichend genau abgeschätzt werden können.

2. Veränderung des Ozongehaltes durch den Menschen

2.1 Grundlagen: Ozonbildung, -transporte und mittlere Trends

Ozon wird nicht durch natürliche oder anthropogene Quellen in die Atmosphäre emittiert, sondern ausschließlich durch chemische Prozesse in der Atmosphäre gebildet. 90 % des Ozons befindet sich in der Stratosphäre. Das stratosphärische Ozon wird überwiegend in den äquatorialen Breiten gebildet und gelangt von dort durch horizontalen Transport in die mittleren und höheren Breiten. Der Abbau des stratosphärischen Ozons erfolgt durch chemische Reaktionen und durch Photolyse sowie durch den vertikalen Transport stratosphärischer Luftmassen in die Troposphäre. Der Ozongehalt in der Stratosphäre nimmt zur Zeit aufgrund anthropogener Aktivitäten allgemein ab (s. Kap. 2.3).

Der Ozongehalt der Troposphäre (etwa 10 % des Gesamtzongehaltes) wird einmal durch den Eintrag ozonreicher Luftmassen aus der Stratosphäre und zum anderen durch photochemische Prozesse in der Troposphäre bestimmt. Der Eintrag aus der Stratosphäre erfolgt in hohen und mittleren Breiten beider Hemisphären und ist in den Winter- und Frühjahrsmonaten, insbesondere der Nordhemisphäre, am stärksten ausgeprägt. Die photochemische Produktionsrate ist u. a. abhängig von den anthropogenen Emissionen der Ozon-Vorläufer NO_x , VOC, CH_4 und CO sowie von der Einstrahlung der Sonne. Die photochemische Produktionsrate erreicht in den mittleren Breiten ihre maximalen Werte im Frühsommer. In den Tropen werden maximale O_3 -Produktionsraten während der Trockenzeit beobachtet, wenn die Emissionen der O_3 -Vorläufersubstanzen durch die Verbrennung von Biomasse besonders ausgeprägt ist. Der Ozongehalt in der Troposphäre nimmt aufgrund anthropogener Aktivitäten, vor allem in der Nordhemisphäre, zu (s. auch Kap. 2.4).

Die in den letzten Jahrzehnten gemessenen Trends der O_3 -Konzentrationen in der Troposphäre (O_3 -Zunahme) und in der Stratosphäre (O_3 -Abnahme) sind somit grundverschieden. Der gesamte atmosphärische Ozongehalt nimmt aber aufgrund des in absoluten Werten größeren O_3 -Abbaus in der Stratosphäre generell ab, wobei starke regionale Unterschiede beobachtet werden.

Die über Deutschland gemessenen Ozontrends zeigt die Abb. 2.1. Der Ozonrückgang in der Stratosphäre im Höhenbereich um etwa 22 km betrug im vergangenen Jahrzehnt ca. 0,5 % pro Jahr, die Zunahme in der freien Troposphäre im Durchschnitt der vergangenen 25 Jahre etwa 2 % pro Jahr. In ländlichen Gebieten wird eine Zunahme der Ozonkonzentration von etwa 1 % pro Jahr gemessen.

2.2 Auswirkungen der anthropogen bedingten Änderung des Ozongehaltes

Die Änderung des Ozongehaltes in den beiden Atmosphärenstockwerken Troposphäre und Stratosphäre wirkt sich in vielerlei Hinsicht nachteilig aus. Nachfolgend sind einige Beispiele aufgeführt und diskutiert.

Ozon als UV-B-Filter

Die Ozonschicht in der Stratosphäre absorbiert nahezu die gesamte ultraviolette Strahlung der Sonne im Wellenlängenbereich zwischen 230 und 320 nm. Der extrem kurzwellige Teil bei Wellenlängen kleiner als 290 nm wäre bei der Intensität der Sonnenstrahlung für niedrige Organismen und für die Oberflächenzellen höherer Organismen bei längerer Exposition tödlich. Die sogenannte UV-B-Strahlung (Wellenlängenbereich zwischen 280 und 320 nm) führt bei ausreichender Exposition zu Schädigungen bei Menschen, Tieren und Pflanzen. Ein Abbau im Bereich der maximalen Ozonkonzentration (etwa zwischen 20 und 30 km Höhe) ist mit der Zunahme des UV-B-Strahlungsanteils in den darunterliegenden Schichten der Atmosphäre verbunden.

Die Zunahme der UV-B-Strahlung an der Erdoberfläche kann beim Menschen zu einer Zunahme der Erkrankungen an Hautkrebs und grauem Star sowie zu verringerter Immunabwehr führen. Nach heutigem Kenntnisstand kann eine höhere UV-B-Strahlung das in den oberen Schichten der Ozeane lebende Phytoplankton, das wichtigste Glied in der marinen Nahrungskette mit Wirkung auf Fischfang und damit

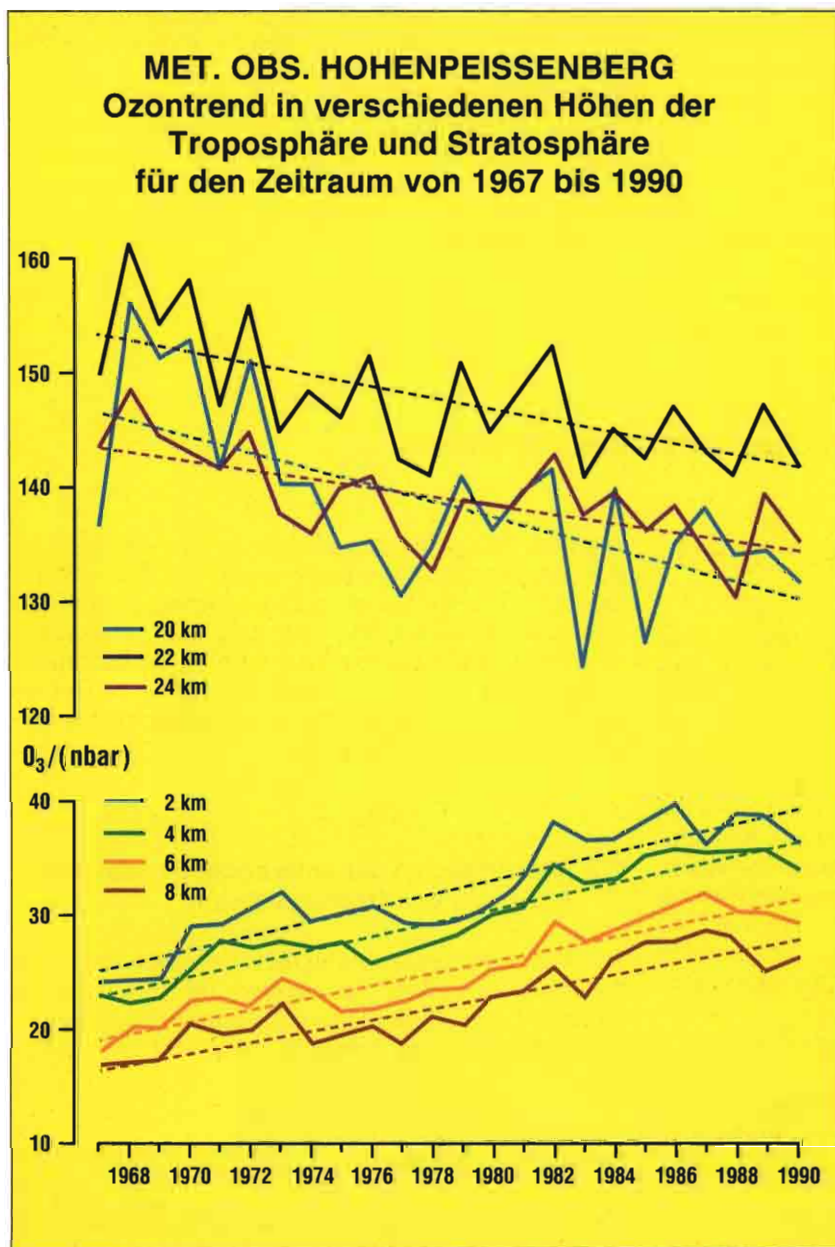


Abbildung 2.1: Ozontrends in verschiedenen Höhen 1967—90 (Wege u. Vandersee, 1992)

Welternährung (Smith u. a., 1992), schädigen. Darüber hinaus werden Wachstumsstörungen, Zellschäden und Mutationen an höheren Pflanzen auftreten.

Eine Zunahme der UV-B-Strahlung ist insbesondere in den durch das „antarktische Ozonloch“ betroffenen Ländern beobachtet worden. Einerseits sind hier die Verluste an stratosphärischem Ozon am größten, andererseits sind mögliche kompensierende Effekte, wie z. B. die Zunahme des troposphärischen Ozons (zusätzliche Absorption) oder der troposphärischen Aerosole (mehr Streuprozesse) schwächer ausgeprägt als in der Nordhemisphäre. So stellten Seckmeyer u. McKenzie (1992) in den Sommermonaten 1990/91 in Neuseeland (Station Lauder in 45 °S) eine im Vergleich zu den Sommermonaten 91 in Deutsch-

land (Station Neuherberg in 48 °N) etwa doppelt so hohe UV-B-Strahlung fest.

Die Zunahme der UV-B-Strahlung in den mittleren Breiten beider Hemisphären im Zeitabschnitt zwischen 1979 und 1989 ist mit Hilfe von Modellrechnungen auf 4 bis 12 % abgeschätzt worden (Liu u. a., 1991; Madronich, 1992). Zuverlässige Messreihen über einen Zeitraum von mehreren Jahren liegen noch nicht vor, weil bisherige Geräte sowohl nicht ausreichend spektral auflösten als auch nicht genau genug geeicht wurden, um Veränderungen im Bereich einiger Prozente sicher feststellen zu können. Außerdem schwankt die UV-B-Strahlung auch mit Bewölkung, Lufttrübung und Ozongehalt in der unteren Atmosphäre.

Ozon als Luftschadstoff

Höhere Ozonkonzentrationen in den untersten Schichten der Troposphäre können zwar die durch den Ozonverlust in der Stratosphäre verbundene Zunahme der UV-B-Strahlung zumindest regional abmildern, schädigen dafür aber unmittelbar Pflanzen, Tiere und Menschen.

Beim Menschen wirkt Ozon wegen seiner stark oxidativen Eigenschaften primär schädlich auf die Lunge. So führt Ozon bereits bei einer Konzentration von $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (etwa 80 ppb) bei mehrstündiger körperlicher Belastung zu Veränderungen der Lungenfunktionswerte (Wagner, 1991). Bei Kindern verringert sich das pro Sekunde aus der Lunge ausgeatmete Luftvolumen bereits bei einer Ozonbelastung von 120 ppb um 16 % (Sonnemann, 1992).

Ozon kann zu Augenreizungen und zu Veränderungen der Sehschärfe führen. Reizungen der Nasenschleimhäute und Luftröhre treten bei Ozonkonzentrationen von etwa $590 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf. Ungeklärt ist, ob die Einwirkung von Ozon auch mutagene und kanzerogene Auswirkungen hat.

Das bodennahe Ozon gilt derzeit als der bedeutendste Luftschadstoff für die Biosphäre, wobei die Auswirkungen arten- und sortenspezifisch sind. Das Ozon sowie die bei der photochemischen Ozonbildung freigesetzten anderen Photooxidantien führen zur Braunfärbung von Blättern, manchmal sogar zum Absterben von Pflanzenpartien, wobei die Einflüsse bei sehr jungem sowie bei älterem Gewebe geringer ist. Ozon wird ursächlich mit den neuartigen Waldschäden in Verbindung gebracht. Die Schädigung der Chloroplasten sowie die Veränderung der Durchlässigkeit der Zellmembranen durch Photooxidantien verringern das Wachstum und führen zu einem überdurchschnittlichen Verlust an Wasser.

Ozon als Treibhausgas

Höhere Ozonkonzentrationen in der Troposphäre und der unteren Stratosphäre bis etwa 35 km Höhe verstärken den Treibhauseffekt (s. Kap. 1.3). Dieser Effekt ist um so stärker, je niedriger die Temperatur ist, bei der Ozon gebildet wird. Da Ozon in der Troposphäre zunimmt und in der Stratosphäre abnimmt, ist es regional treibhauseffektverstärkend oder -abschwächend, auf jeden Fall aber wegen damit verbundener Temperaturänderungen klimaändernd.

Indirekte Wirkungen des Ozons

Weitere Auswirkungen der anthropogen ausgelösten Veränderung des atmosphärischen Ozonanteils sind schwieriger einzuschätzen.

So beeinflusst Ozon die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre, in dem es die Verteilung und Konzentration des Hydroxyl-Radikals (OH) stark prägt. OH hat wiederum entscheidenden Einfluß auf die Abbauraten verschiedener anderer Spurengase in der Atmosphäre.

Die vertikale Verteilung des Ozons in der Atmosphäre hat einen großen Einfluß auf die dynamischen Vorgänge in der Atmosphäre. So ist die Ozonschicht in der Stratosphäre maßgeblich für die Temperaturstruktur und die Dynamik der Stratosphäre verantwortlich. Sie beeinflusst damit den vertikalen Transport von Luftmassen in der Stratosphäre sowie zwischen der Troposphäre und der Stratosphäre und hat damit einen entscheidenden Einfluß auf die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre.

2.3 Stratosphärischer Ozonabbau

Die Ozonkonzentration in der Stratosphäre hat in den letzten 20 Jahren, insbesondere in den mittleren und hohen Breiten beider Hemisphären im Mittel um 5 % bis 10 % pro Jahrzehnt abgenommen (WMO/UNEP, 1992). Dieser Trend wird sich nach gegenwärtigem Verständnis noch mindestens ein Jahrzehnt weiter fortsetzen. Extreme Ozonverluste werden in den Winter- und Frühjahrsmonaten beobachtet:

- Das antarktische Ozonloch war 1992 und 1993 hinsichtlich „Tiefe“ und Ausdehnung mit den Ozonlöchern der Jahre 1987, 1989, 1990 und 1991 vergleichbar. Dabei beträgt der Ozonverlust über der Antarktis im dortigen Frühjahr bis zu 60 % gegenüber den Werten der 70er Jahre.
- Im Winter 91/92 wurden über weiten Gebieten der Nordhemisphäre ungewöhnlich niedrige Ozonmengen — bis zu 10 % unter dem langjährigen Mittel — beobachtet (EK, 1992). Der Ozonverlust im Winter 92/93 war noch höher. Über einigen Gebieten der mittleren Breiten der Nordhemisphäre wurden zwischen Dezember 1992 und März 1993 zeitweise 10 bis 20 % geringere Ozonkonzentrationen im Vergleich zum vorangegangenen Winter festgestellt (Waters u. a., 1993).

Ursachen für den Ozonabbau

Die für die Ozonzerstörung verantwortlichen Radikale wie Chlormonoxid (ClO), Brommonoxid (BrO) oder Stickoxide (NO_x) entstehen beim Abbau langlebiger Spurengase in der Stratosphäre, welche zum weit überwiegenden Anteil (FCKW, Halone) oder zu einem wesentlichen Anteil (N_2O) durch menschliche Aktivitäten in der Troposphäre freigesetzt werden. Diese Gase sind in der Troposphäre reaktionsträge, werden aber in der Stratosphäre durch UV-Strahlung sowie durch Reaktionen mit angeregtem atomarem Sauerstoff und OH-Radikalen in die für die Ozonzerstörung verantwortlichen Radikale zerlegt.

Am wichtigsten ist dabei zur Zeit der steigende Chloranteil in der Stratosphäre. Die Chlorkonzentration in der Stratosphäre hat innerhalb der letzten 20 Jahre von 2 ppbv auf etwa 3,5 ppbv zugenommen (WMO/UNEP, 1992). Dieser Anstieg wird zu mehr als 80 % durch die anthropogenen Emissionen chemisch sehr stabiler Verbindungen (FCKW) verursacht. Das natürliche Hintergrund-Mischungsverhältnis, das überwiegend durch das Methylchlorid (CH_3Cl) aus

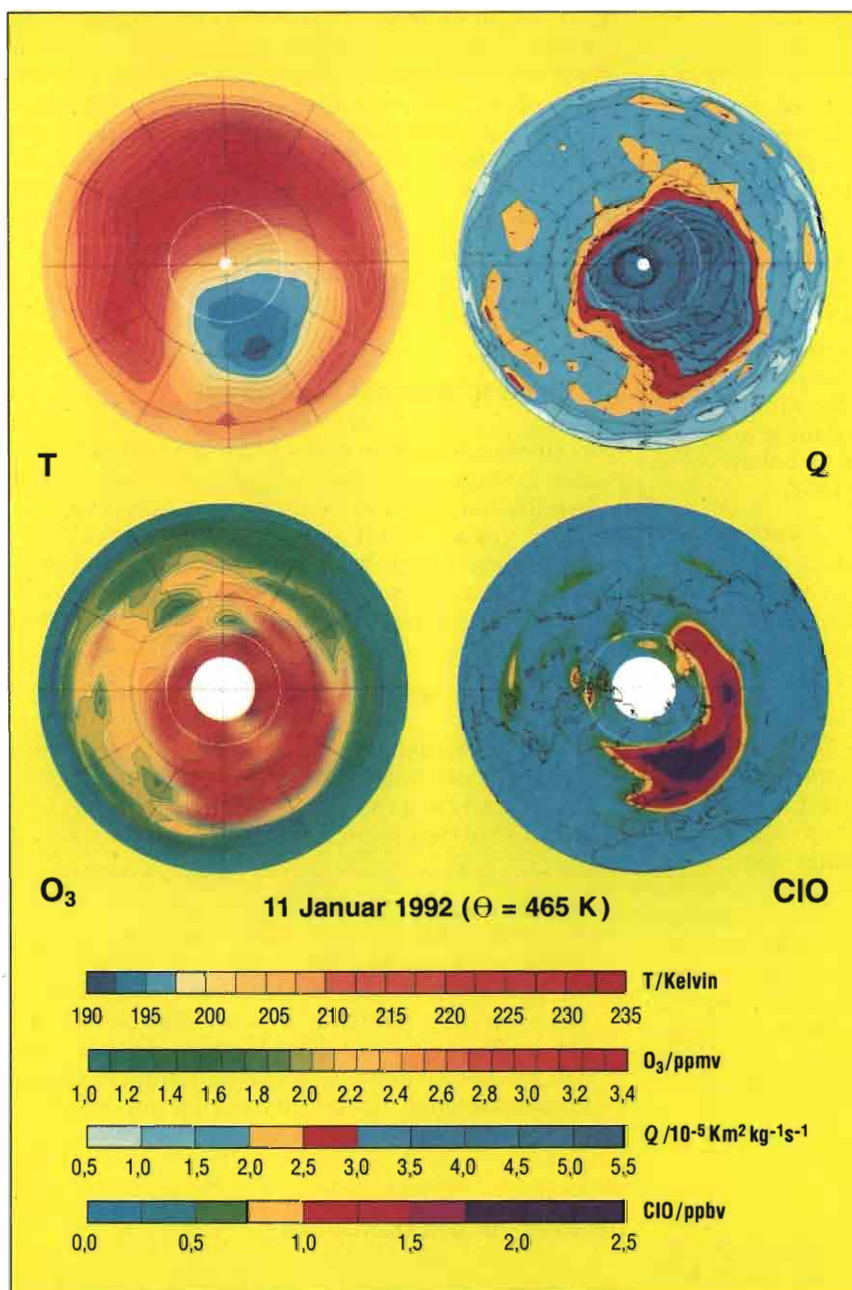


Abbildung 2.2: Die Verteilung von Chlormonoxid (ClO), Temperatur (T), Ozon (O₃) und potentieller Vorticity (Q = Maß für die Wirbelstärke der atmosphärischen Strömung) in einem Höhniveau von etwa 20 km über der Nordhemisphäre am 11. Januar 1992 (Waters u. a., 1993)

Darstellung: polar orthographische Projektionen, die die gesamte nördliche Erdhälfte abbilden (Äquator am äußeren Rand). Landkonturen sind lediglich in der ClO-Teilabbildung eingezeichnet.

Herkunft der Daten: ClO und O₃ aus UARS/MLS-Messungen (Upper Atmospheric Research Satellite, Microwave Limb Sounder); T und Q aus Analysen des NMC (US National Meteorological Center).

Die Teilabbildung für Q enthält zusätzlich Windpfeile, deren Länge zur Windstärke proportional sind, wobei die größten Windgeschwindigkeiten mit Werten bis zu 45 m/s am Rand des Polarwirbels (roter Bereich) auftreten. In diesem Q -feld zeigt der blau markierte Bereich das Gebiet an, in dem aufgrund sehr tiefer Temperaturen polare Stratosphärenwolken (PSC) gebildet werden können. Der weiße Kreis in jeder der vier Teilabbildungen gibt die Grenze der Polarnacht an. Die übrigen weiß markierten Bereiche in der Nähe des Nordpols repräsentieren Datenlücken.

Diese Abbildung zeigt auf den ersten Blick, daß die Ozonkonzentration im Bereich des Polarwirbels (Vergleich zwischen O₃- und Q -Verteilung) höher ist als außerhalb. Dieses Ozonmaximum wird durch den während des Winters in der Nordhemisphäre besonders stark ausgeprägten Transport ozonreicher Luftmassen aus den niedrigeren Breiten hervorgerufen und entspricht dem Zustand einer ungestörten (d. h. normalen) Ozonverteilung über der polaren Nordhemisphäre im Winter. Innerhalb dieses Polarwirbels sind jedoch die Ozonkonzentrationen in den Gebieten besonders tiefer Temperaturen und hoher ClO-Konzentration (Mittel- und Nordeuropa) deutlich (etwa 15 bis 20 %) geringer im Vergleich zu den normalen Ozonkonzentrationen in diesen Breiten.

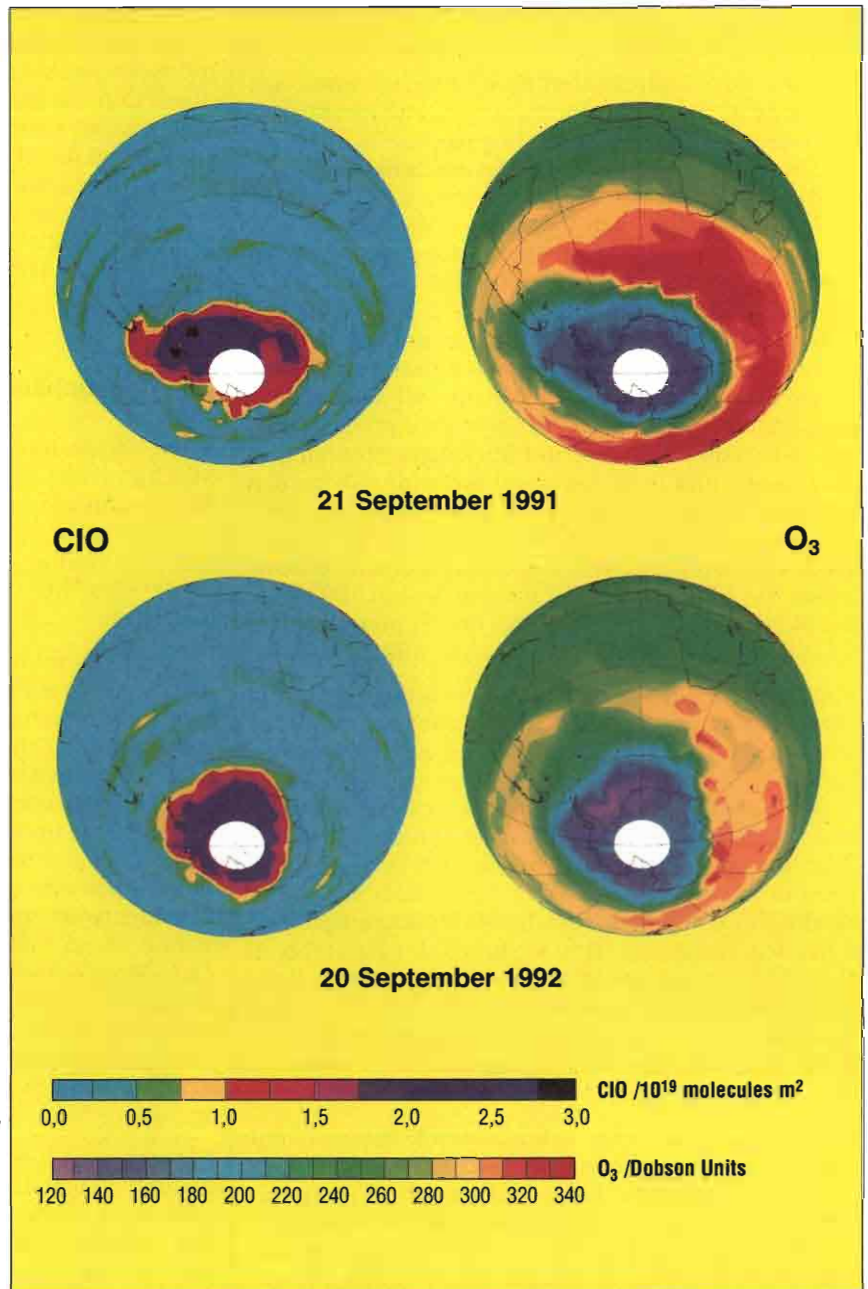


Abbildung 2.3: Die Verteilung von CIO und O₃ über der Südhemisphäre am 21. September 1991 sowie am 20. September 1992 (Waters u. a., 1993)

Herkunft der Daten: CIO und O₃ aus UARS/MLS-Messungen (Upper Atmospheric Research Satellite, Microwave Limb Sounder). In Gegensatz zu Abb. 2.2 geben diese Karten die vertikal (oberhalb etwa 15 km Höhe) integrierten CIO- bzw. O₃-Werte an.

Die Abbildung dokumentiert den Zusammenhang zwischen hoher CIO-Konzentration und starker Ozonabnahme über der polaren Südhemisphäre. Die O₃-Konzentrationen im Jahr 1992 liegen in einem breiten Band um die Antarktis deutlich unter denen des Vorjahres.

den Ozeanen bestimmt wird, liegt bei etwa 0,6 ppbv (WMO/UNEP, 1992).

Extreme Ozonverluste sind dort zu verzeichnen, wo die reine Gaschemie durch heterogene chemische Prozesse (chemische Umwandlungsprozesse an Oberflächen fester und flüssiger Bestandteile) verstärkt wird. Dies geschieht vor allem über der Antarktis, deren Stratosphäre sich im Verlauf des Winters sehr stark abkühlt und somit die Bildung von polaren stratosphärischen Wolken („Polar Stratospheric Clouds“, PSC) ermöglicht (Crutzen u. Arnold, 1986). Dabei werden Stickoxide gebunden und die normalerweise in Chlornitrat gebundenen reaktiven Chlorverbindungen freigesetzt, die dann mit Wiederkehr des Sonnenlichts im Frühjahr Ozon katalytisch zerstören. Durch diesen Prozeß der Stickstoffeinbindung in die flüssige und feste Aerosolphase wird nahezu das gesamte Chlorpotential für die Ozonerstörung aktiviert (Waters u. a., 1993). Den Zusammenhang zwischen Ozonabbau und hohem Chlorpotential verdeutlichen die Abbildungen 2.2 für den Januar 1992 über der Nordhemisphäre und 2.3 für den September 1992 für die Südhemisphäre (Waters u. a., 1993).

Eine weitere Möglichkeit den Ozonabbauprozess in einer ähnlichen Weise zu beschleunigen, sind heterogene chemische Reaktionen an den Oberflächen von Schwefel-Aerosolteilchen (Brasseur u. a., 1990), deren Konzentration in der Stratosphäre selbst in Abschnitten ohne Vulkanaktivität um etwa 5 % pro Jahr angestiegen ist (Hofmann, 1991). Kurzfristig kann der Anteil von Schwefel-Aerosolteilchen in der Stratosphäre durch hochreichende Vulkaneruptionen erheblich zunehmen. Der Ausbruch des Pinatubo im Juni 1991, der mit einem großen Eintrag von SO_2 in die Stratosphäre verbunden war, wird für den verstärkten Ozonabbau in den beiden letzten Winterperioden der mittleren Breiten der Nordhemisphäre mitverantwortlich gemacht (Zellner, 1992).

Die Wirksamkeit dieser heterogenen Prozesse hängt von der Dauer bestimmter austauscharmer Wetterlagen ab, insbesondere müssen sehr niedrige Temperaturen ($T < -78^\circ\text{C}$) vorherrschen. Diese meteorologischen Randbedingungen für die Ausbildung reaktiver Chlorverbindungen in extrem hoher Konzentration sind über der Antarktis gegeben und haben zum Ende des Winters und im zeitigen Frühjahr zu einem etwa 15 Mio. km^2 großem Gebiet mit extrem niedriger Ozonkonzentration über mehrere Wochen hinweg geführt. Über der Arktis verhindert die größere Variabilität der atmosphärischen Zirkulation die Ausbildung eines ähnlich stabilen, kalten und nahezu ortsfesten Polarwirbels und somit die Ausbildung eines mit dem antarktischen Ozonloch vergleichbaren Phänomens.

Ausblick

Der Ozonabbau in der Stratosphäre wird sich in den kommenden Jahren verstärkt fortsetzen, da die Konzentration der ozonabbauenden Radikale in der Stratosphäre — trotz des auf der 4. Vertragsstaatenkonferenz des Montrealer Protokolls beschlossenen beschleunigten Ausstiegs aus der FCKW-Verwendung

(bis 1. Januar 1996) — aufgrund der langen Verweilzeiten der Vorläufersubstanzen in den nächsten Jahren noch weiter ansteigen wird. Dieser Effekt wird durch den wachsenden anthropogenen Treibhauseffekt, der zu einer weiteren Abkühlung der Stratosphäre und damit zu einer Verlangsamung des Ozonabbaus durch homogene Gasreaktionen führt, gemindert. Auf der anderen Seite wird jedoch die Bildung von PSC begünstigt und der Abbau von Ozon, insbesondere über den Polkappen, verstärkt (Austin u. a., 1992).

2.4 Troposphärische Ozonzunahme

Seit der Industrialisierung hat sich das mittlere Ozon-Mischungsverhältnis in den bodennahen Luftmassen der Nordhemisphäre mit Werten zwischen 40 und 50 ppbv gegenüber dem vorindustriellen Zustand mehr als verdoppelt. In den Tropen liegen die Ozonwerte — im Mittel zwischen 25 und 30 ppbv — deutlich niedriger.

Die durchschnittliche Ozonbelastung ist in den hoch-industrialisierten Ländern der Nordhemisphäre, und hier insbesondere in den ländlichen Gebieten, am höchsten. Die Tab. 2.1 gibt für die westlichen Bundesländer an meist ländlichen Stationen gemessene Ozonkonzentrationen im Jahr 1990 an. Beachtenswert ist dabei, daß trotz z. T. sehr unterschiedlicher Jahresmittelwerte die maximalen Halb- bzw. Zwei-Stunden-Mittelwerte sehr eng beieinander und weit über dem VDI-Richtwert von $120\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen. Die Station Schauinsland meldete im Jahr 1990 an 135 Tagen Zwei-Stundenmittel der Ozonkonzentration über $120\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ (BMU, 1992a). An allen Stationen wird kurzzeitig sogar der MAK-Wert (maximale Arbeitsplatzkonzentration) von 0,1 ppmv ($180\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$) überschritten, an 8 Stationen sogar an mehr als 10 Tagen im Jahr.

Kurzzeitige O_3 -Spitzenkonzentrationen können in Ballungsgebieten höher sein als in Reinluftgebieten. Allerdings laufen die ozonbildenden bzw. -abbauenden Prozesse in Ballungsgebieten wesentlich schneller ab. Der Tagesgang der Ozonkonzentration ist stärker ausgeprägt (größere Extrema). Bei Wetterlagen mit hoher Ozonkonzentration, z. B. bei austauscharmen Smog-Wetterlagen, werden auch hohe Konzentrationen weiterer Photooxidantien angetroffen, die vielfach toxischer wirken als Ozon. Die beobachtete Zunahme der O_3 -Konzentration ist in der freien Troposphäre in den mittleren Breiten der Nordhemisphäre mit etwa 1 % pro Jahr im Mittel besonders deutlich ausgeprägt. Dagegen ist in der Südhemisphäre kein langfristiger Trend des Ozons in der Troposphäre nachweisbar.

Ursachen für die Ozonzunahme

Die anthropogenen Emissionen der Ozon-Vorläufer NO_x , VOC, CH_4 und CO die

— in den Industrieländern zu einem überwiegenden Anteil durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe und

Tabelle 2.1

Ozonkonzentrationen 1990; gemessen an Stationen des Umweltbundesamtes

Meßstelle	Ozon 1990 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]							
	Jahres- mittel- werte	maximale Halb- stunden	maximale 2-Std.- mittel	Anzahl der Tage mit 2-Stundenmittel				
				> 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	>180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	>240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	>300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	>360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Schauinsland ...	101	317	308	135	38	8	1	0
Brotjackriegel .	89	265	262	114	22	2	0	0
Deuselbach	76	304	288	106	32	9	0	0
Herleshausen ..	70	305	273	85	14	2	0	0
Regnitzlosau ...	63	240	229	69	12	0	0	0
Waldhof	59	235	229	71	11	0	0	0
Westerland	59	214	196	22	1	0	0	0
Rottenburg	59	235	225	76	17	0	0	0
Rodenberg	53	280	272	54	8	1	0	0
Meinerzhagen ..	51	351	337	44	15	4	0	0
Ansbach	50	216	208	47	4	0	0	0
Hohenwestedt ..	49	239	235	30	4	0	0	0
Bassum	45	250	245	35	8	1	0	0
Gittrup	33	293	287	24	8	1	0	0

— in den Tropen durch die Verbrennung von Biomasse emittiert werden, sind für die Zunahme des troposphärischen Ozons verantwortlich (s. auch Kap. 2.5).

Ozon wird in der Troposphäre bei der durch Stickoxide katalysierten photochemischen Oxidation von CO , CH_4 und höheren Kohlenwasserstoffen gebildet. Die reaktiven VOC sind dabei für die O_3 -Bildung in den untersten Schichten der Troposphäre und die langlebigeren Spurengase CO und CH_4 für die O_3 -Bildung in der freien Troposphäre von ausschlaggebender Bedeutung. Die photochemische Ozonbildung in der Troposphäre ist i.a. durch NO_x limitiert. Unterschreitet das NO_x -Mischungsverhältnis den Wert von 10 pptv, wird Ozon nicht mehr gebildet, sondern abgebaut (EK, 1992).

2.5 Ozonrelevante Emissionen im Landwirtschafts- und Waldbereich

Die ozonrelevanten Emissionen, die den Bereichen Landwirtschaft und Wälder zuzurechnen sind, werden ausführlich in den Abschnitten B und C behandelt. Hier soll lediglich eine grobe Einordnung dieser Emissionen in Relation zu anderen Emittenten erfolgen. Die Emissionen sind am Abbau des stratosphärischen Ozons wie auch an der Bildung des troposphärischen Ozons beteiligt.

Stratosphärisches Ozon

Von den gasförmigen Emissionen aus landwirtschaftlichen Aktivitäten beeinflussen lediglich N_2O und CH_4 die Chemie der Stratosphäre in bedeutsamer Weise.

N_2O ist die wesentliche Quelle von stratosphärischem NO_x , dem wichtigsten natürlichen Katalysator des Ozonabbaus in der homogenen Gasphase (Zellner, 1992b). Dieser Beitrag zum zusätzlichen Ozonabbau ist jedoch momentan gegenüber dem durch die FCKW klein. Darüber hinaus wird durch die Reaktion zwischen NO_2 und ClO das stabile Chlornitrat gebildet und dadurch die schädigende Einwirkung der reaktiven Chlorverbindungen auf die globale stratosphärische Ozon-Konzentration gemindert. Der Bereich Landwirtschaft (inkl. Biomasseverbrennung) ist mit ca. 2,1 Mio. t N pro Jahr für etwa 15 % aller N_2O -Emissionen bzw. für ca. 60 % der anthropogenen N_2O -Emissionen verantwortlich (IPCC, 1992).

Methan (CH_4) führt nicht nur zur Bildung von Wasserdampf (H_2O) in der Stratosphäre, sondern beeinflusst auch die Bildung von HO_x -Radikalen. Der über HO_x -Radikale laufende katalytische Ozonabbauzyklus ist im oberen Bereich der Stratosphäre, d. h. oberhalb von 50 km, dominant (EK, 1990). Durch die Reaktion des Methans mit Chlor-Atomen wird außerdem reaktives Chlor in Form von HCl gebunden, das dann

durch vertikalen Transport aus der Stratosphäre in die Troposphäre gebracht und dort durch Niederschlag aus der Atmosphäre ausgewaschen wird.

Der Bereich Landwirtschaft ist mit mehr als 200 Mio. t CH₄ für knapp 60 % aller anthropogenen CH₄-Emissionen verantwortlich (IPCC, 1992).

Troposphärisches Ozon

Anthropogene CH₄-Emissionen in den Bereichen Landwirtschaft und Wälder (Naßreisanaubau, Tierhaltung, unkontrollierte Verbrennung von Biomasse) liegen in der Höhe von 200 Mio. t CH₄ pro Jahr, was etwa 60 % aller anthropogenen bzw. 40 % der gesamten CH₄-Emissionen in einem Jahr entspricht (IPCC, 1992).

Die folgenden Angaben zu den Emissionsraten der Ozonvorläufer CO und NO_x sind noch sehr ungenau, da einerseits die räumlich wie zeitlich sehr variablen

Quellenstärken noch nicht durch ausreichende Messungen abgesichert sind und andererseits die vergleichsweise kurzen Verweilzeiten dieser Spurengase in der Atmosphäre für eine insgesamt sehr inhomogene Verteilung sorgen.

Schätzungen der durch Verbrennung von Biomasse jährlich global freigesetzten CO-Menge liegen zwischen 335 und 1400 Mio. t CO pro Jahr. Der indirekt durch Oxidation von Methan gebildete CO-Anteil pro Jahr liegt in der Größenordnung 600 Mio. t CO (IPCC, 1992).

Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂), oftmals zusammengefaßt als NO_x, entstehen u. a. bei Brandrodung, beim Abbrand von Kultursavannen aber auch bei mikrobiologischen Abbauprozessen in Böden. Die durch unkontrollierte Biomasseverbrennung jährlich emittierte NO_x-Menge liegt etwa zwischen 2,5 und 13 Mio. t N pro Jahr (IPCC, 1992). Die gesamten NO_x-Emissionen werden auf über 50 Mio. t N geschätzt.

3. Literaturverzeichnis Abschnitt A

- Austin, J., N. Butchart u. K.P. Shine (1992): Possibility of an Arctic ozone hole in a doubled- CO₂ climate. *Nature*, 360, 221-225
- Barnett, T.P. (1988): Global sea level change. In: NCPO, Climate variations over the past on the first climate trends workshop, 7-9 Sept., 1988, Rockville, Maryland
- BMU (1992): Beitrag von R. Görden, BMU. in Mitteilungen der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft 4/92
- Boer, G.J., N.M. McFarlane u. M. Lazare (1992): Greenhouse gas-induced climate change simulated with the CCC second-generation General Circulation Model. *J. of Climate*, 5, 1045-1077
- Bonan, G.B., D. Pollard u. S.L. Thompson (1992): Effects of boreal forest vegetation on global climate. *Nature*, 359, 22 Oct 92, 716-718
- Brasseur, G.P., C. Granier u. S. Walters (1990): Future changes in stratospheric ozone and the role of heterogeneous chemistry. *Nature*, 348, 13 Dec 1990, 626-628
- Cess, R.D. et. al. (1990): Intercomparison and interpretation of climate feedback processes in nineteen atmospheric general circulation models. *J. Geophys. Res.*, 95, 16601-16615
- Crutzen, P.J. u. F. Arnold, (1986): Nitric acid cloud formation in the cold Antarctic stratosphere: a major cause for the spring-time ozone hole. *Nature*, 324, 651-655
- Dickenson, R.T.E. (1991): Global change and terrestrial hydrology — a review. *Tellus*, 43A, 176-181
- EK (1991a): Schutz der Erde. Bericht der Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ des 11. Deutschen Bundestages, *Economica*, Band I
- EK (1992): Klimaänderung gefährdet globale Entwicklung. Bericht der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des 12. Deutschen Bundestages, *Economica*, Bonn
- Eltins, J.W., T.M. Thompson, T.H. Swanson, J.H. Butler, B.D. Hall, S.O. Cummings, D.A. Fisher, A.G. Raffo (1993): Decrease in the growth rates of atmospheric chlorofluorocarbons 11 and 12. *Nature*, 364, 26 Aug 93, 780-783
- Enting, I.G., C.M. Trudinger, R.J. Francey u. H. Graneke (1993): Synthesis inversion of atmospheric CO₂ using the GISS transport model. CSIRO Div. of atmos. Res, Techn. Paper No. 29
- Flohn, H. (1985): Das Problem der Klimaänderungen in Vergangenheit und Zukunft. *Wiss. Buchges.*, Darmstadt, 1985
- Gates, W.L. (1992): Climate modelling. *WMO Bull.*, 41
- Graßl, 1993: Umsetzung der Klimakonvention: Überzeugung der Skeptiker. *Energiew. Tagesf.*, 43, Heft 8, 525-527
- Harrison, E.F., P. Minnis, B. Barkstrom, V. Ramanathan, R.D. Cess, G.G. Gibson (1990): Seasonal variation of cloud-radiative forcing derived from the Earth Radiation Budget Experiment. *J. Geophys. Res.*, 95, D11, 18687-18703
- IPCC (1990): Climate Change — The IPCC Scientific Assessment. WMO/UNEP, Cambridge University Press
- IPCC (1992): Climate Change — The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. WMO/UNEP, Cambridge University Press
- Keeling, C.D. u. a. (1989): in Aspects of Climate Variability in the Pacific and the Western Americas. D.H. Peterson, Ed., American Geophysical Union, Washington, 165-236
- Keeling, R.F. u. S.R. Shertz (1992): *Nature*, 358, 723-727
- Kiehl, J.T. u. V. Ramanathan (1990): Comparison of cloud forcing derived from the Earth Radiation Budget Experiment with that simulated by the NCAR community Climate Model. *J. Geophys. Res.*, Vol 95, D8, 11679-11698
- Kiehl, J.T. u. B.P. Briegleb (1993): The relative roles of sulfate aerosols and greenhouse gases in climate forcing. *Science*, 260, 16 Apr 93, 311-314
- Kley, D. (1992): in KD 12/4-c
- Langner, J., H. Rodhe, P.J. Crutzen u. P. Zimmermann (1992): Anthropogenic influence on the distribution of tropospheric sulphate aerosol. *Nature*, 359, 22 Oct 92, 712-716
- Lelieveld u. Crutzen (1992): Indirect chemical effects of methane on climate warming. *Nature*, 355, 339-341

- McFarlane, N.A., G.J. Boer, J.-P. Blanchet u. M. Lazare (1992): The Canadian Climate Centre Second-Generation General Circulation Model and its Equilibrium Climate. *J. of Climate*, 5, Oct 92, 1013-1044
- Peltier, W.R. u. A.M. Tushingham (1989): Global sea level rise and the greenhouse effect: might they be connected?. *Science*, 244, 806-810
- Ramanathan, V., R.D. Cess, E.F. Harrison, P. Minnis, B. Barkstrom, E., Ahmad, D.L.
- Hartmann (1989): Cloud-radiative forcing and climate: insights from the Earth Radiation Budget Experiment, *Science*, 243, 57-63
- Rieland, M. u. R. Stuhlmann (1993): Towards the influence of clouds on the shortwave radiation budget of the earth-atmosphere system estimated from satellite data. *J. Appl. Meteor.*, 32, No. 5, 825-843
- Robertson, J.E. u. A.J. Watson (1992): *Nature*, 358, 738-740
- Roeckner, E., K. Arpe, L. Bengtsson, S. Brinkop, L. Dümenil, M. Esch, E. Kirk, F. Lunkeit, M. Ponater, B. Rockel, R. Sausen, U. Schlese, S. Schubert, M. Windelband (1992): Simulation of the present-day climate with the ECHAM model: impact of model physics and resolution. Max-Planck-Inst. f. Meteorologie, Report Nr. 93, Oct 92
- Roeckner, E., M. Rieland u. E. Keup (1991): Modelling of cloud and radiation in the ECHAM model. ECMWF/WCRP workshop on 'clouds, radiative transfer and the hydrological cycle', 12-15 Nov 1990, 199-222, ECMWF, Reading, UK
- Sarmiento, J.L. u. E.T. Sundquist (1992): *Nature*, 356, 589-593
- Sarmiento, J.L., J.C. Orr, U. Siegenthaler (1992): in *J. Geophysical Research*, 97, 3621
- Schlesinger, M.E. u. N. Ramankutty (1992): Implications for global warming of intercycle solar irradiance variations. *Nature*, 360, 26 Nov 92, 330-333
- Schönwiese, C.-D. (1992): in KD 12/4-a
- Schönwiese, C.-D., J. Rapp, T. Fuchs u. M. Denhard (1993): Klimatrend-Atlas Europa 1891-1990. Berichte des Zentrums für Umweltforschung Nr. 20 — Januar 1993
- Siegenthaler, U. u. J.L. Sarmiento (1993): Atmospheric carbon dioxide and the ocean. *Nature*, 365, 9 Sep 93, 119-125
- Sonnemann, G. (1992): Ozon — natürliche Schwankungen und anthropogene Einflüsse. Akad. Verl., Berlin
- Sundquist, E.T. (1993): The global carbon dioxide budget. *Science*, 259, 12 Feb 93, 934-941
- Tans, P.P., I.Y. Fung u. T. Takahashi (1990): Observational constraints on the global CO₂ budget. *Science*, 247, 1431-1438
- Tselioudis, G., W.B. Rossow u. D. Rind (1992): Global patterns of cloud optical thickness variation with temperature. *J. of Climate*, 5, 1484-1495
- Tselioudis, G., W.B. Rossow (1993): Variations of cloud radiative properties with temperature: a comparison between low and high cloud behavior. Amer. Geoph. Union Conference, Baltimore, 24-28 May, 1993
- UNEP (1992): Protecting the ozone layer. Vol 1 Refrigerants. UNEP/IE/PAC, UN Publication Waters, J.W., L. Froidevaux, W.G. Read, G.L. Manney, L.S. Elson, D.A. Flower, R.F. Jarnot u. R.S. Harwood (1993): Stratospheric ClO and ozone from the Microwave Limb Sounder on the Upper Atmosphere Research Satellite. *Nature*, 362, 15 April 1993, 597-602
- Wege, K. u. W. Vandersee (1992): Umwelt und Klima — über Ozontrends. in Mitteilungen der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft 4/92
- Wigley, T.M.L. u. Raper, S.C.B. (1992): Implications for climate and sea level revised IPCC emissions scenarios. *Nature*, 357, 28 May 92, 293-300
- WMO/UNEO (1992): Global Ozone Research and Monitoring Project, Nr. 25, Genf Zellner, R. (1992): Ozonabbau in der Stratosphäre. Studie für die EK zu den neusten Ergebnissen zweier Meßkampagnen (EASOE u. Ozonmeßkampagne der NASA) im Winter 91/92

Abschnitt B — Klimaänderung und Landwirtschaft

Zusammenfassung und zentrale Empfehlungen

Intensivlandwirtschaft in den Industrieländern

Die Landwirtschaft trägt global wie national zu 15 % zum anthropogenen Treibhauseffekt bei. Die Analyse der in Mitteleuropa vorherrschenden Intensivlandwirtschaft belegt den deutlichen Zusammenhang zwischen der Produktionsintensität, dem Grad der Spezialisierung und Konzentration sowie dem Ausmaß der verschiedenen Umweltbelastungen und der klimaschädlichen Spurengasemissionen aus der Landwirtschaft.

Die intensive Landwirtschaft, speziell mit intensiven Vorleistungen (Produktion von Düngemitteln, Bioziden etc.), in den westlichen Industrieländern trägt durch den Verbrauch fossiler Energieträger vor allem bei der Herstellung von Mineraldüngern, als Treibstoff und durch den Import bzw. Transport von Futtermitteln zur CO₂-Emission bei. Der teilweise überhöhte und teilweise unsachgemäße Einsatz mineralischer und/oder organischer Stickstoffdünger führt zu Stickstoffeinträgen in die Agrarökosysteme, die die Aufnahme durch die Pflanzen häufig weit übersteigen. Die Stickstoffüberschüsse verbleiben im Boden oder werden in die Gewässer ausgewaschen. Mit der Höhe der Stickstoffüberschüsse in den Böden nehmen zudem die Distickstoffoxid-Emissionen überproportional zu. Die Methan- und Ammoniakfreisetzung aus der Tierhaltung und der Wirtschaftsdüngung hängt wesentlich vom Energie- und Eiweißgehalt des Futters sowie dem Stallhaltungs- und Entmistungssystem ab. Besonders hoch sind die Emissionen aus der intensiven Massentierhaltung mit Gülle-Entmistungssystemen. Die Ammoniakausgasung aus der Gülle trägt gemeinsam mit der Auswaschung bzw. dem Abtrag mineralischer Stickstoffdünger in Grund- und Oberflächengewässer zur Eutrophierung natürlicher und naturnaher Ökosysteme bei. Dies führt dort wiederum zur verstärkten Freisetzung von Distickstoffoxid. Gleichzeitig trägt die Eutrophierung zur Zerstörung insbesondere von nährstofflimitierten Lebensräumen wildlebender Pflanzen und Tiere und damit zur Verringerung der Arten- und Biotopvielfalt in der Landschaft bei.

Die zunehmende Spezialisierung und Mechanisierung in der Landwirtschaft führte in vielen Regionen zur Entkopplung von Tierhaltung und Pflanzenbau, zu einer Verarmung der Fruchtfolgen, zum Rückgang einer geregelten Stallmist-Humuswirtschaft. Die Schädigung der Bodenstruktur, zum Beispiel durch den unsachgemäßen Einsatz schwerer Maschinen mit hoher Flächenpressung und die Zunahme der Erosion erhöhen den Austrag von Kohlenstoff und Nährstoffen aus den Agrarökosystemen, was letztlich ebenfalls klimarelevant ist.

Landwirtschaft in den Entwicklungsländern

Die Armut der ländlichen Bevölkerung, die ungleiche Landbesitzverteilung (Großgrundbesitz), der exportorientierte Anbau von Cash-crops, die Verschuldung der Entwicklungsländer, der Verfall von Preisen auf dem Weltmarkt und das ungebremsste Bevölkerungswachstum überfordern das ursprünglich nachhaltige System des Wanderfeldbaus und verstärken die Brandrodungsaktivitäten in den Wäldern. Da die Böden rasch degradieren, müssen ständig neue Flächen gerodet werden. Zusätzlich nehmen die Rodungsaktivitäten aufgrund staatlicher Siedlungsprogramme und der Anreize zur großflächigen Erschließung der Wälder zu.

Die Brandrodung der Tropenwälder trägt mit 15 % zum anthropogenen Treibhauseffekt bei. Die tropischen Wälder werden zum größten Teil gerodet, um neue landwirtschaftliche Anbauflächen zu gewinnen. Der reichumsbedingten Ressourcenverschwendung des Nordens steht die armutsbedingte Ressourcenzerstörung des Südens gegenüber. Die umweltbelastende Intensivlandwirtschaft mit ihren Überschüssen im Norden und die weitgehend fremdbestimmte, exportorientierte Landwirtschaft bei Unterversorgung der einheimischen Bevölkerung im Süden verursachen beide steigende Emissionen klimawirksamer Spurengase und sind daher Mitverursacher der globalen Klimaänderung.

Globale Umweltprobleme durch nicht nachhaltige Landbewirtschaftung

In engem Zusammenhang mit dem Beitrag der Landwirtschaft zur Emission klimawirksamer Spurengase stehen zahlreiche weitere, regional unterschiedlich ausgeprägte Umweltbelastungen. Die Qualität unserer Lebensumwelt und unserer Nahrungsmittel hat sich verschlechtert. Die Landwirtschaft ist heute in erheblichem Umfang an der Eutrophierung von Ökosystemen, am Artensterben und der genetischen Verarmung, an der Zerstörung wertvoller Biotope und am Waldsterben beteiligt. Teile der Kulturlandschaft wurden im Zuge der „Flurbereinigung“ ausgeräumt und haben an Wert verloren. Gleichzeitig drohen infolge der ökonomisch und ökologisch teilweise bedenklichen Flächenstillegung oder der Aufgabe der Bewirtschaftung weite Teile des Landes zu veröden, wie in verschiedenen Regionen der EU bereits zu beobachten ist. Zudem kommt es vorübergehend häufig zur verstärkten Auswaschung von Stickstoff in Grund- und Oberflächengewässer, wenn dieser nicht

mehr durch Kulturpflanzen dem Boden entzogen wird.

Die Konzentration der intensiven Landbewirtschaftung und die konzentrierte Massentierhaltung in den landwirtschaftlichen „Gunsträumen“ verstärkt dort die regionalen Umweltschäden und trägt erheblich zur Degradation der Böden bei. Die künstliche Bewässerung führt in semi-ariden und ariden Gebieten oft zur Versalzung. Überhöhte Düngung und Pestizideinsatz tragen zur chemischen Belastung bei. Unsachgemäße, nicht standortgerechte Bodenbearbeitung sowie die fehlende Stallmist-Humuswirtschaft ziehen Strukturschäden, Erosion und Verdichtungen der Böden nach sich. Die stetig wachsende, häufig irreversible Schädigung der Böden führt zur weiteren Ausdehnung der Wüstenflächen. Übernutzung und Überweidung, nicht angepaßte Anbaumethoden und die Rodung der Wälder sind weltweit die häufigsten Ursachen dieser Entwicklung.

Durch die notwendige Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion und die weitere Ausdehnung der Landbewirtschaftung insbesondere in den unterversorgten Regionen der Welt wird der Beitrag der Landwirtschaft an der anthropogenen Klimaänderung künftig weiter steigen. Gleichzeitig beschleunigt die Klimaänderung die weitere Erosion, Versalzung und Desertifikation der landwirtschaftlichen Nutzflächen im Sinne einer positiven Rückkopplung.

Drohende Gefahren durch die Klimaänderung

Nach Klimamodellrechnungen erwartet man im nächsten Jahrhundert — ohne deutliche und weltweite Gegenmaßnahmen — eine Erwärmung um etwa 0,3°C pro Jahrzehnt im globalen Durchschnitt. Hierdurch verschieben sich die Vegetationszonen mittlerer Breiten polwärts und es kommt zu teilweise starken Veränderungen in der regionalen Intensität und Verteilung der Niederschläge und anderer Wetterereignisse und zu einer Zunahme extremer Wetterereignisse (Dürren, Stürme etc.).

So ungleich verteilt wie die Ursachen der Klimaänderung, so ungleich verteilt sind aber auch deren Auswirkungen. Ein Viertel der Weltbevölkerung in den westlichen Industrienationen verursacht drei Viertel der Emissionen bzw. der globalen Klimaänderung. Zwar werden voraussichtlich auch die reichen Industrieländern keine Gewinner einer Klimaänderung sein, doch werden die Auswirkungen in der dortigen Überschußlandwirtschaft weniger dramatisch sein. Für die unterversorgten Entwicklungsländer werden hingegen drastische Auswirkungen prognostiziert. Unter dem Anpassungsdruck der Klimaänderung wird sich daher die Kluft zwischen Entwicklungsländern und Industrieländern weiter vertiefen.

Die jetzt schon relativ trockenen Zonen im westlichen und südlichen Afrika, in Südostasien und großen Teilen von Mittel- und Südamerika wären von einem geringen Rückgang der Niederschläge besonders betroffen. Die Landwirtschaft ist dort bereits häufig von Dürre bedroht. Die fruchtbaren und dichtbesie-

delten Winterregenzonen um das Mittelmeer, in den USA und den südlichen GUS-Ländern würden zu unfruchtbaren Trockengebieten. Um hier weiterhin Pflanzenbau betreiben zu können, müßten die genannten Gebiete künstlich bewässert werden, soweit denn ausreichend Kapital und Wasser vorhanden wäre. Den Böden droht bei unsachgemäßer Bewässerung die Gefahr der Versalzung, die eine weitere landwirtschaftliche Nutzung unmöglich macht. Auch der Anstieg des Meeresspiegels könnte in vielen dichtbesiedelten Küstenregionen und fruchtbaren Flußdeltas zu Landverlusten durch Überflutung oder Versalzung führen (Bangladesh, Nildelta, Golf von Mexiko, deutsche und niederländische Nordseeküste etc.).

Konsequenzen für die Ernährung der Weltbevölkerung

Wenn auch die Weltbevölkerung derzeit noch ausreichend ernährt werden könnte, so scheitert dies an der mangelhaften Verteilung zwischen Arm und Reich. Große Teile der Weltbevölkerung leben bereits heute „von der Hand in den Mund“ und viele verhungern. Die weltweite Klimaänderung und die dabei sehr wahrscheinliche Zunahme der Dürren, Stürme und anderer extremer Wetterereignisse gefährden die Welternährung in zunehmendem Maße. Zudem wird die Bevölkerung bis zum Jahr 2025 von derzeit 5,5 Milliarden auf schätzungsweise 8,5 Milliarden Menschen anwachsen. Fünf Sechstel der Weltbevölkerung werden dann in den heutigen Entwicklungs- und Schwellenländern leben. Dies wird zu einer drastischen Verschärfung der sich bereits abzeichnenden Verteilungskämpfe und entsprechenden Migrationsproblemen führen.

Der weiteren Ausdehnung der landwirtschaftlichen Nutzflächen sind bereits jetzt Grenzen gesetzt. Die Agrar-Überschußproduktion der westlichen Industrieländer war schon in der Vergangenheit keine Lösung der Ungleichverteilung und der Unterversorgung weiter Teile der Welt. Sie führte vielmehr zu Verzerrungen auf dem Weltmarkt mit erheblichen Nachteilen für viele Entwicklungsländer, die von Agrarexporten abhängig sind.

Zielsetzung für die künftige globale Landbewirtschaftung

Aus den beschriebenen Wechselwirkungen und Abhängigkeiten zwischen der Landwirtschaft und der Klimaänderung, einschließlich ihrer ökonomischen und soziokulturellen Bezüge, kann man folgende Ziele für eine künftige Landbewirtschaftung ableiten:

— Die Freisetzung klimawirksamer Spurengase aus der Landwirtschaft (und allen anderen Wirtschaftszweigen) müssen vermindert und damit die Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre und die Veränderung des Klimas begrenzt werden;

- die Spurengasbelastung der Atmosphäre muß durch eine stabilere und stärkere Kohlenstoffbindung in der Biosphäre und den Böden verringert werden;
- die künftige umweltgerechte und nachhaltige Landbewirtschaftung ist an regionale Standortbedingungen und zukünftige Klimaänderungen anzupassen.

Diese Ziele gelten gleichermaßen für die Landwirtschaft in den Industrieländern wie auch in den unterversorgten Regionen der Welt.

Maßnahmen zur Verringerung der klimaschädlichen Emissionen aus der Landwirtschaft

Die Freisetzung klimawirksamer Spurengase hängt in der westlichen Intensivlandwirtschaft maßgeblich von deren Produktionsintensität ab. Daher müssen die Emissionen durch eine Senkung der Produktionsintensität, durch eine Extensivierung der Landwirtschaft reduziert werden. Dies ist möglich durch

- die Rückführung der Überschußproduktion durch eine flächendeckend umweltverträgliche und extensivere Bewirtschaftung und die Schaffung entsprechender finanzieller Anreize auf EU-Ebene,
- die stärkere Förderung umweltgerechter Formen der Landbewirtschaftung,
- die Internalisierung externer Kosten der Landwirtschaft durch eine Abgabe/Steuer z. B. auf Mineralstickstoff und Gülle,
- die Vergütung der ökologischen und landschaftspflegerischen Leistungen der Landwirtschaft durch staatliche Transferzahlungen,
- die Streichung der Landwirtschaftsklauseln im Bundes-Naturschutzgesetz und den Landes-Naturschutzgesetzen,
- die Verringerung der Tierbestände durch die Bindung der Tierhaltung an die Fläche,
- die Verbesserung der Tierfütterung,
- die Verbesserung der Wirtschaftsdüngerlagerung und -ausbringung,
- die Begrenzung der Stickstoffdüngung über die Festsetzung von Höchstmengen bei Wirtschaftsdüngern und Abgaben/Steuern bei Mineraldüngern,
- die Durchsetzung verbindlicher Auflagen für Bodenschutzmaßnahmen,
- die Senkung des Energieverbrauchs in der Landwirtschaft,
- die Verringerung des Futtermittelzukaufs und -imports,
- die Förderung der energetischen Nutzung organischer Rest- und Abfallstoffe aus der Land- und Forstwirtschaft,
- nach Prüfung von Öko- und Klimabilanzen die Förderung nachwachsender Rohstoffe.

Die Verringerung der Emissionen aus der westlichen Intensivlandwirtschaft eröffnet gleichzeitig den Entwicklungsländern den erforderlichen Spielraum für eine Produktionssteigerung in ihrer Landwirtschaft. Ebenso wie in allen anderen Wirtschaftsbereichen ist die notwendige Entwicklung in den Entwicklungsländern nur dann global klimaverträglich möglich, wenn die Industrieländer ihre Emissionen zuvor deutlich senken.

Die Ernährung einer wachsenden Weltbevölkerung in den unterversorgten Regionen der Welt erfordert eine standortgerechte und umweltverträgliche Produktionssteigerung in der dortigen Landwirtschaft. Durch eine maßvolle und standortangepaßte Erhöhung der Produktionsintensität könnten die Erträge erheblich gesteigert werden. Sofern gewährleistet wird, daß die Ertragssteigerungen für die Ernährungssicherung der einheimischen Bevölkerung genutzt werden und nicht — wie bisher — vorwiegend den Produzenten von „Cash crops“, dem Export und dem Gewinn weniger Großbetriebe international tätiger Unternehmen zugute kämen, könnte auch eine wachsende Bevölkerung ernährt werden.

Oberstes Ziel muß aber auch hier eine nachhaltige und dauerhafte Landbewirtschaftung sein. Nur mit Hilfe eines stabilen und an den Standort angepaßten Anbaus (Agroforstwirtschaft/Ecofarming) läßt sich der Teufelskreis aus Degradation der Böden und Brandrodung weiterer Waldflächen (mit den entsprechenden klimarelevanten Emissionen) durchbrechen. Gleichzeitig müßten aber erhebliche Anstrengungen zur Reduzierung des Bevölkerungswachstums unternommen und verschiedene regionale bzw. globale Rahmenbedingungen der Landwirtschaft und des Welt Handels verändert werden. Hier sind insbesondere zu nennen:

- die Verbesserung des Marktzugangs für die Entwicklungsländer durch den Abbau von Handels hemmnissen — insbesondere für weiterverarbeitete Produkte,
- die Einführung ökologischer und sozialer Standards in den Welthandel,
- ein weitergehender Schuldenerlaß für Entwicklungsländer,
- der Transfer von Finanzmitteln, die gezielt und unter der Möglichkeit der Erfolgskontrolle zur Förderung einer nachhaltigen Entwicklung in Entwicklungsländern eingesetzt werden,
- der Transfer umweltschonender Technologien und Verfahren in die Entwicklungsländer,
- die Erhöhung der staatlichen Entwicklungshilfe der Industrieländer auf mindestens 0,7 % ihres Bruttosozialproduktes bis zum Jahr 2000,
- eine wesentliche Aufstockung der Globalen Umweltfazilität (GEF) und die Ausweitung der Aufgaben der GEF auf eine stärkere Förderung nachhaltiger Landbewirtschaftungssysteme in den Entwicklungsländern.

Das Leitziel ist eine weltweit nachhaltige und damit auch gleichermaßen klima- und umweltverträgliche Landbewirtschaftung.

1. Bedeutung der Landwirtschaft

Landwirtschaft ist die geplante und gelenkte Nutzung von Pflanzen- und Tierbeständen zur Versorgung des Menschen mit Nahrungsmitteln und Rohstoffen. Sie gehört zur Ur- oder Primärproduktion und bleibt trotz wachsender technischer und chemischer Beeinflussung an elementare biologische Abläufe und an den Naturhaushalt, d. h. an das komplexe Beziehungs- und Wirkungsgefüge der Lebewesen untereinander und mit ihrer unbelebten Umwelt, gebunden.

In einer allein aus natürlichen Ökosystemen bestehenden Umwelt konnte der Mensch nur als Jäger und Sammler existieren. Erst der Übergang zu Pflanzenbau und Tierhaltung ermöglichte den Menschen sich vom Zwang der eigenständigen Nahrungsbeschaffung zu befreien. Die zuverlässige Sicherung der Ernährung auch der nicht in der Landwirtschaft tätigen Bevölkerung durch die Landwirtschaft stellte die Grundlage unserer heutigen arbeitsteiligen Gesellschaft dar. Die wachsende Produktivität in Pflanzenbau und Tierhaltung ermöglichte die Ansammlung und Aufbewahrung größerer Nahrungsmittelvorräte und schuf damit die Voraussetzung für die räumliche Differenzierung in Stadt und Land sowie die Versorgung der immer stärker wachsenden Bevölkerung (SRU, 1985 u. 1992).

Die Befriedigung des elementaren Grundbedürfnisses der Nahrungsmittelversorgung besitzt daher einen hohen ökonomischen Stellenwert. Gleichzeitig ist sie von größter ökologischer Bedeutung, da die Nahrung nur durch mehr oder weniger starke Eingriffe in die natürliche Umwelt erzeugt werden kann. Die Landwirtschaft ist zudem — insbesondere im Bereich des Pflanzenbaus — von den natürlichen Produktionsbedingungen, vor allem dem Klima und Witterungsverlauf abhängig, was sie gegenüber anderen Wirtschaftsbereichen benachteiligt. Diese Tatsache begründet auch die wirtschaftspolitische Sonderrolle der Landwirtschaft nach § 1 des Deutschen Landwirtschaftsgesetzes.

Die Landwirtschaft nimmt aber sowohl unter ökonomischen wie unter ökologischen Gesichtspunkten eine Sonderrolle in der Gesellschaft ein. Die Sicherung der Ernährung und insbesondere die weitgehende Selbstversorgung der Bevölkerung war zu jeder Zeit ein hohes volkswirtschaftliches Ziel. Die EG-weite Selbstversorgung war einer der wesentlichen Gründe für den Abschluß der römischen Verträge (1957) und die Bildung der Europäischen Wirtschafts-Gemeinschaft. Agrarpolitische Entscheidungen und Kompetenzen wurden als erste weitgehend auf die EG-Ebene verlagert. Die Gemeinsame Agrarpolitik hat daher zentrale Bedeutung im zusammenwachsenden Europa.

Die ökonomische Rolle der Landwirtschaft hat im Vergleich zur Industrieproduktion in jüngster Zeit zunehmend an Bedeutung verloren, die ökologische Sonderstellung ist jedoch geblieben. Diese kommt

auch darin zum Ausdruck, daß die Landwirte seit dem Beginn der landwirtschaftlichen Bodennutzung maßgeblich die Entwicklung und Gestalt des Raumes und der Landschaft bestimmt haben. Dadurch war und ist Landbewirtschaftung zwangsläufig zugleich Umweltgestaltung. Dies kann zur Erhaltung der Natur, zur Schaffung und Entwicklung einer Kulturlandschaft, zur Erhöhung der Artenvielfalt, aber auch, wie insbesondere neuere Entwicklungstendenzen zeigen, zur Beeinträchtigung der Natur, zur Zerstörung von Biotopen, dem Verlust von Arten und zur Umweltbelastung führen (SRU, 1985). Die wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen, denen die Landwirtschaft unterliegt, müssen daher künftig den verschiedenen Aufgaben der Landwirtschaft gleichermaßen gerecht werden. Diese Aufgaben sind:

- die umweltgerechte, nachhaltige und ausreichende Produktion von qualitativ hochwertigen und gesunden Nahrungsmitteln sowie Rohstoffen zur industriellen Verarbeitung oder energetischen Nutzung;
- der Erhalt bzw. die Wiederherstellung und die Pflege der natürlichen Lebensgrundlagen (Boden, Wasser, Luft, Artenvielfalt) in einer vielgestaltigen Kulturlandschaft;
- die Sicherung und Stärkung der Sozialstruktur ländlicher Räume (Arbeitsplätze, Lebensqualität etc.).

Die Landwirtschaft in den gemäßigten Breiten arbeitete im 18. und 19. Jahrhundert, ja sogar bis in die Mitte des 20. Jahrhunderts hinein in einem ausgewogenen Miteinander von Pflanzenbau und Tierhaltung. Eine geregelte Futterwirtschaft auf Acker und Grünland, durch die Stallmistwirtschaft weitgehend geschlossene Stoffkreisläufe, systematische, vielgliedrige und abwechslungsreiche Fruchtfolgen und eine auf langer Erfahrung basierende Berücksichtigung der speziellen ökologischen Voraussetzungen jedes Betriebes und jedes einzelnen Feldes waren die Grundlagen der bäuerlichen Landwirtschaft. Wenn gleich die Erträge deutlich unter dem heutigen Niveau lagen, war dieses System in seiner Flächenproduktivität dem des ausgehenden Mittelalters bereits mindestens um das zwei- bis vierfache überlegen und bot durch die Einführung der Kartoffel und Hülsenfrüchte in die Fruchtfolgen vor allem eine höhere Ertragssicherheit sowie Vielfalt und Qualität der Nahrungsmittel (Hampicke, 1987). Diese nachhaltige und umweltverträgliche Form der Landbewirtschaftung entwickelte der ökologische Landbau in einer Synthese aus traditioneller Erfahrung, technischem Fortschritt und aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen stetig weiter.

Die Begründung der Agrikulturchemie — vor allem durch J. v. Liebig — in der Mitte des 19. Jahrhunderts, die großtechnische Gewinnung von Stickstoffdünge-

mitteln (Ammoniaksynthese nach dem Haber-Bosch-Verfahren seit 1913) sowie die Fortschritte in der Produktionstechnik und der Pflanzen- bzw. Tierzüchtung waren wesentliche Schritte bei der enormen Steigerung der Produktion, der Sicherung der Erträge und der Ernährung einer rasch wachsenden Bevölkerung. Der weitaus größte Teil der traditionell konventionellen Landwirtschaft veränderte sich in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts im Verlauf eines deutlichen Strukturwandels zu einer „Intensivlandwirtschaft“. Diese Entwicklung der Landwirtschaft (Kap. 1.1.3) und ihre Folgen (Kap. 1.2.1) müssen noch näher erläutert werden.

Die Intensivierung in der Landwirtschaft ist eine wesentliche Ursache für die Zunahme vieler von ihr verursachter Umweltbelastungen und steigender Emissionen klimawirksamer Spurengase. Im zweiten Kapitel wird die Rolle der Landwirtschaft als „Täter“ ausführlich dargestellt. Zugleich ist sie aber auch „Opfer“, denn sie ist der Wirtschaftsbereich, der den Wirkungen des Klimas und der Klimaänderung am deutlichsten unterworfen ist. „Die Gestaltung des gesamten Landwirtschaftsbetriebes wird in entscheidender Weise vom Klima beeinflusst. Es ist wesentlich, sich stets dieser beherrschenden Rolle bewußt zu sein und die Bodennutzung dem Klima als dem Stärkeren anzupassen“ (Klapp, 1967). Die möglichen, weit überwiegend negativen Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Landwirtschaft sind daher Inhalt des dritten Kapitels. Abschließend werden im vierten Kapitel politische Handlungsempfehlungen und technische Maßnahmen erläutert, mit denen die Emissionen klimawirksamer Spurengase aus der Landwirtschaft gesenkt werden können.

1.1 Ökonomische Bedeutung der Landwirtschaft

Der Produktionswert der Landwirtschaft (ABL+NBL) ging im Wirtschaftsjahr 1992/93 gegenüber dem Vorjahr um 6,6 % auf 64,4 Mrd. DM zurück, die Ausgaben für Vorleistungen reduzierten sich um 2,8 % auf

34,0 Mrd. DM. Die Nettowertschöpfung zu Faktorkosten verminderte sich ebenfalls um 8,6 % auf 24,7 Mrd. DM. Der Anteil der Landwirtschaft an der gesamten Nettowertschöpfung der Volkswirtschaft belief sich auf schätzungsweise 1,0 %. Das Fremdkapital verringerte sich während des Wirtschaftsjahres 1992/93 um 1,6 % auf 44,1 Mrd. DM.

1993 waren in den landwirtschaftlichen Betrieben Deutschlands und deren Haushalten 1,83 Mio. Personen haupt- oder nebenberuflich beschäftigt. Die betriebliche Arbeitsleistung hat sich 1993 im früheren Bundesgebiet um 4,7 %, in den neuen Ländern um 15,7 % verringert und belief sich auf etwa 788 000 Arbeitskraft-Einheiten. Der Arbeitskräftebesatz betrug 1993 in Deutschland 4,6 AK-Einheiten je 100 ha LF (ABL: 5,4 AKE/100 ha; NBL: 2,8 AKE/100 ha). Die Gewinne der landwirtschaftlichen Vollerwerbsbetriebe sanken gegenüber dem Vorjahr um durchschnittlich 6,3 % auf 44 707 DM je Unternehmen (Tab. 1.15) (BML, 1994 a).

1.1.1 Landwirtschaftliche Flächennutzung in der Bundesrepublik Deutschland

Die Bundesrepublik Deutschland hat eine Fläche von 356 950 km² (35,7 Mio. Hektar). Davon entfallen auf das frühere Bundesgebiet (ABL) 248 620 km² und auf die neuen Bundesländer (NBL) 108 330 km². Die Zahl der Einwohner liegt bei 80,1 Mio. (1991), was zu der vergleichsweise hohen Einwohnerdichte von 223 Einw./km² (ABL: 256; NBL: 148) führt.

Die Flächennutzung ist insbesondere in den alten Bundesländern geprägt durch einen Landschaftsverbrauch aufgrund der stetigen Zunahme von Siedlungs- und Verkehrsflächen. Pro Tag wächst die Siedlungs- und Verkehrsfläche um etwa 90 ha (ABL) (UBA, 1993 b). Dennoch ist die Bundesrepublik mit über 50 % Landwirtschaftsfläche und fast 30 % Waldfläche (10,38 Mio. ha) noch ein relativ grünes Land. In den Tab. 1.1 bis 1.3 wird die Flächennutzung in der Bundesrepublik Deutschland detailliert aufgeschlüsselt.

Tabelle 1.1

Flächennutzung in der Bundesrepublik Deutschland 1989 (in km² und prozentualer Aufteilung) (Statistisches Bundesamt, 1992 a)

Landwirtschaftsfläche ¹⁾	Siedlungs-/Verkehrsfläche	Waldfläche	Wasserfläche	sonstige Flächen	Gesamtfläche
195 270	43 620	103 850	7 640	6 570	356 950
54,7 %	12,2 %	29,1 %	2,1 %	1,8 %	100 %

¹⁾ Flächen des Ackerbaus, der Wiesen- und Weidewirtschaft, des Garten- und Weinbaus ohne Moor und Heide; nicht identisch mit der „landwirtschaftlich genutzten Fläche“ in Tabelle 1.2.

Tabelle 1.2

**Landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF) 1991 (in km² und prozentualer Verteilung)
(Statistisches Bundesamt, 1992 a)**

	Alte Bundesländer	Neue Bundesländer	Bundesrepublik Deutschland gesamt
landwirtschaftlich genutzte Fläche ..	118 450	52 920	171 370
davon: Dauergrünland	43 260	10 040	53 300
Anteil in Prozent	36,5	19	31,1
Ackerland	73 130	42 460	115 590
Anteil in Prozent	61,7	80,2	67,5

Tabelle 1.3

**Nutzung des Ackerlandes (ohne Hausgärten und Dauerkulturen) 1991 (in km² und prozentualer Aufteilung)
(Statistisches Bundesamt, 1992 a)**

Frucht	Alte Bundesländer		Neue Bundesländer		Bundesrepublik Deutschland gesamt	
Getreide	44 040	60,2 %	21 560	50,8 %	65 600	56,8 %
Hülsenfrüchte	350	0,5 %	120	0,3 %	470	0,4 %
Hackfrüchte	6 570	9,0 %	2 920	6,9 %	9 490	8,2 %
Raps/Rübsen	6 170	8,4 %	3 330	7,8 %	9 500	8,2 %
Futterpflanzen	11 380	15,6 %	7 890	18,6 %	19 260	16,7 %
Sonstiges/Brache	4 620	6,3 %	6 640	15,6 %	11 270	9,7 %

In Deutschland bewirtschafteten 1993 592 681 landwirtschaftliche Betriebe (≥ 1 ha LF) insgesamt 17,0 Mio. ha LF. Davon entfielen auf das frühere Bundesgebiet 567 295 Betriebe mit 11,7 Mio. ha LF und auf die neuen Länder 25 386 Betriebe mit 5,3 Mio. ha LF (BML, 1994 a).

Tabelle 1.4

Agrarstruktur in der Bundesrepublik Deutschland (BML, 1994 a)

Erwerbscharakter	Zahl der Betriebe 1993 (in 1000)	Veränderung gegen Vorjahr (in %)	Durchschnittsgröße 1993 (in ha LF)	Veränderung gegen Vorjahr (in %)
Vollerwerb	276,5	-2,6	33,35	+2,9
Zuerwerb	46,5	-4,5	20,61	+3,7
Nebenerwerb	244,3	-2,0	6,42	+2,6

1.1.2 Formen und Intensitätsstufen der landwirtschaftlichen Produktion

Die Intensität und Form der landwirtschaftlichen Produktion ist von entscheidender Bedeutung bei der Analyse der landwirtschaftlichen Einflüsse auf die anthropogene Klimaänderung. Unter Intensität versteht man das mengenmäßige Verhältnis zweier bzw.

mehrerer Produktionsfaktoren zueinander, die in einem Produktionsprozeß eingesetzt werden. In der Landwirtschaft wird mit „spezieller Intensität“ der Betriebsmitteleinsatz je Fläche oder je Tier bezeichnet. Im folgenden ist mit den Begriffen „hohe Produktionsintensität, intensive Produktionsweise oder Intensivlandwirtschaft“ allgemein eine hohe spezielle Intensität gemeint.

Die Verringerung der einen Intensität führt immer zum Anstieg anderer Intensitäten. Strebt man das gleiche Produktionsergebnis an, können nicht alle Intensitäten gleichzeitig gesenkt werden. Bei geringerem Betriebsmitteleinsatz je Fläche steigt beispielsweise dessen Kehrwert, der Flächeneinsatz je Einheit Betriebsmittel (Bauer, 1993 b). Erzielt man aufgrund des geringeren Betriebsmitteleinsatzes niedrigere Erträge je Fläche, kann man die ursprüngliche Menge nur produzieren, indem man eine größere Fläche nutzt. Durch eine niedrigere spezielle Intensität, also einen geringeren Betriebsmitteleinsatz je Fläche, können jedoch die vor allem durch überhöhte spezielle Intensitäten verursachten Umweltbelastungen verringert werden. Im Gegensatz zur intensiven Produktionsweise bezeichnet man eine auf großer Fläche betriebene, vor allem den Boden ausnutzende Bewirtschaftung als eine extensive Produktionsweise.

Unter Extensivierung im klassischen Sinne wäre daher die Reduzierung der speziellen Intensität bei gleichzeitiger Ausweitung der Produktion auf größere Flächen zu verstehen. Aufgrund der teilweise erheblichen Produktions- bzw. Marktüberschüsse in der EU-Landwirtschaft wird jedoch eine deutliche Senkung der Produktionsmengen zur Marktentlastung angestrebt. Der Begriff Extensivierung bezeichnet daher im folgenden die Verringerung der Überschussproduktion durch die deutliche Senkung der speziellen Intensität, ohne die Anbaufläche weiter auszudehnen.

Durch die Agrarpreissenkungen im Zuge der Umsetzung der Agrarreform (Kap. 1.1.4) strebt man eine Senkung der speziellen Intensität an. Zusätzlich werden zur Marktentlastung kurz-, mittel- oder langfristige Anteile der bewirtschafteten Fläche stillgelegt (bzw. z. T. nachwachsende Rohstoffe darauf angebaut). Je nach Grad der Extensivierung könnte die ökonomisch und ökologisch fragwürdige Flächenstillegung vermieden und eine wünschenswerte, flächendeckende Bewirtschaftung aufrecht erhalten werden.

Wie einleitend bereits angesprochen, lassen sich folgende Produktionssysteme unterscheiden:

- die konventionelle Landwirtschaft und der integrierte Pflanzenbau
- der ökologische Landbau.

Konventionelle Landwirtschaft und integrierter Pflanzenbau

Die heutige konventionelle Landwirtschaft umfaßt eine Vielfalt verschiedener Produktionsrichtungen und -intensitäten. Nur der ökologische Landbau ist hiervon aufgrund seiner exakten Definition und Bewirtschaftungsauflagen eindeutig abgrenzbar. Die konventionelle Landwirtschaft beinhaltet die gesamte Bandbreite von einer extensiven Bewirtschaftung in Grenzertragslagen bis hin zur intensivsten flächenunabhängigen Massentierhaltung, von einem integrierten Pflanzenbau bis hin zum intensiven Dünge- und Pflanzenschutzmitteleinsatz in artenarmen Fruchtfolgen oder großflächigen Monokulturen. Wenn im folgenden von Umweltbelastungen und

Spurengasemissionen aus der konventionellen Landwirtschaft die Rede ist, so ist hierunter die in Deutschland bzw. Mitteleuropa vorherrschende Intensivlandwirtschaft zu verstehen, die von hohen Erträgen bei hoher spezieller Produktionsintensität (Betriebsmitteleinsatz je ha Fläche oder je Tier) sowie starker Konzentration und Spezialisierung geprägt wird.

Die konventionelle Landwirtschaft wird in Gesetzen und Verordnungen zumeist durch die Begriffe „gute fachliche Praxis“ und „ordnungsgemäße Landbewirtschaftung“ näher gekennzeichnet, ohne jedoch in der Definition und Regelung der Produktionsweise über Formulierungen wie „nach Stand des Wissens und der Technik“ hinauszugehen. Da viele nach heutigem Stand des Wissens und der Technik vermeidbare Umweltbelastungen unter der Bezeichnung „ordnungsgemäß“ dennoch stetig zugenommen haben (Haber, 1989; In: Haas und Köpke, 1994), wurde es wiederholt als gesetzgeberische Fehlleistung kritisiert, die derzeitige konventionelle Landwirtschaft in Gesetzestexten als „ordnungsgemäß“ festzuschreiben (SRU, 1985; Haber, 1989; In: Haas und Köpke, 1994).

Nach einem Höhepunkt am Ende der achtziger Jahre ist in den vergangenen Jahren jedoch ein Rückgang des Dünge- und Pflanzenschutzmitteleinsatzes (Tab. 1.9) sowie des Tierbestandes (Tab. 1.12) festzustellen, der in erheblichem Umfang auch auf die Flächenstillegung und den Zusammenbruch der Landwirtschaft in den neuen Ländern zurückzuführen ist. Die Entwicklung bzw. Zahl und Fläche der landwirtschaftlichen Betriebe geht aus Tab. 1.8 hervor.

Aufgrund der wachsenden Umweltbelastungen wurde in Teilbereichen (v.a. Obstbau) der konventionellen Landwirtschaft zunächst das Konzept eines integrierten Pflanzenschutzes entwickelt. Ziel dieses integrierten Pflanzenschutzes ist die Unterdrückung von Schaderregern durch die Ausnutzung ökologischer Regelkreise sowie durch den gezielten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln erst nach dem Erreichen definierter wirtschaftlicher Schadensschwellen (Populationsdichte, Bedeckungsgrad etc.). Regelmäßige Präventivanwendungen unselektiver Mittel sind durch den zeitlich und räumlich begrenzten Einsatz selektiver, nützlingsschonender Mittel und Maßnahmen zu ersetzen. Da integrierter Pflanzenschutz nur im engen Zusammenwirken mit anderen Bereichen der Pflanzenproduktion bzw. des gesamten Agrarökosystems möglich ist, wurde hieraus das Konzept des integrierten Pflanzenbaus entwickelt. Angestrebt wird eine umweltverträglichere Landbewirtschaftung unter Berücksichtigung von Standort, Ökonomie, Ökologie und Bodenfruchtbarkeit (Heyland, 1991; FIP, 1991; FIP, 1993).

In der Theorie des integrierten Pflanzenbaus sind letztlich Auflagen berücksichtigt worden, die prinzipiell jede Form der Landbewirtschaftung zum Schutz von Boden, Wasser und Umwelt vor vermeidbaren Beeinträchtigungen mindestens erfüllen müßte, um als ordnungsgemäß gelten zu können. Der integrierte Pflanzenbau greift hier die Vorgehensweise ursprünglicher Formen der Landbewirtschaftung wieder auf, die eingebettet waren in die bewußte oder unbewußte Nutzung der natürlichen Möglichkeiten

sowie die Akzeptanz der naturgegebenen Grenzen des gesamten Agrarökosystems. Die moderne konventionelle Landwirtschaft versuchte hingegen in den vergangenen Jahrzehnten begrenzende Standortgegebenheiten durch teilweise übermäßigen Faktoreinsatz auszugleichen, was zu entsprechenden Umweltbelastungen geführt hat. Ziel des integrierten Pflanzenbaus ist daher die Reduzierung dieser unsachgemäßen, überhöhten Intensität in der Landbewirtschaftung. Das Konzept des integrierten Pflanzenbaus kommt darin dem des ökologischen Landbaus nahe, ohne jedoch vergleichbar konkrete Definitionen, Grenzwerte, Auflagen o.ä. auszusprechen. Die allgemein gehaltenen Formulierungen belassen es bei einem ähnlich breiten Interpretationsspielraum wie die bisherigen Beschreibungen der „ordnungsgemäßen Landwirtschaft“. Die standortspezifischen Unterschiede bzw. die unternehmerische Freiheit in der Betriebsgestaltung verhindern nach FIP (1991 u. 1993), Schuh (1989; In: Haas und Köpke, 1994) und Scholz (1989; In: Haas und Köpke, 1994) eine exakte Definition des „Integrierten“ ebenso wie des „ordnungsgemäßen“ Pflanzenbaus und somit der gesamten konventionellen Landwirtschaft. Die Definition des ökologischen Landbaus in Form von Zielsetzungen, Richtlinien und Verordnungen zeigt jedoch, daß eine exakte und umfassende begriffliche und inhaltliche Abgrenzung sowie die eindeutige Formulierung von Bewirtschaftungsauflagen möglich ist. Die zu allgemeine, unverbindliche und vage Ausgestaltung des Konzeptes des integrierten Pflanzenbaus stellt dagegen sehr in Frage, ob hierdurch die Umweltprobleme in der Landwirtschaft gelöst werden können (Pommer, 1992).

Es gibt derzeit keine Angaben zur Zahl der Betriebe oder den Flächen, die nach den Regeln des integrierten Pflanzenbaus bewirtschaftet werden. Da keine eindeutige Abgrenzung zwischen integriertem und „ordnungsgemäßigem“ konventionellem Pflanzenbau möglich ist, werden beide im folgenden unter dem Begriff der konventionellen Landwirtschaft zusammengefaßt betrachtet. Die derzeitige konventionelle Landwirtschaft und die Agrarstruktur in Deutschland und Europa sind das Ergebnis eines umfangreichen Strukturwandels während der vergangenen Jahrzehnte, der in Kapitel 1.1.3 detailliert dargestellt wird.

Ökologischer Landbau

Für den ökologischen Landbau sind seit dem 1. Januar 1993 Anbau, Verarbeitung, Handel, Kennzeichnung und Kontrolle von Produkten durch die EWG-Verordnung 2092/91 (24. Juni 1991) EG-weit geregelt. Darüber hinaus sind die Mitglieder von Anbauorganisationen vertraglich an die weitergehenden Richtlinien ihrer Verbände gebunden. Die deutschen Anbauverbände haben in der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Landbau (AGÖL) verbandsübergreifende Rahmenrichtlinien zum ökologischen Landbau erarbeitet, die auf den weltweit geltenden Rahmenrichtlinien der IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movements) basieren (AGÖL, 1991; IFOAM, 1991). Diese Richtlinien sind eine geeignetere Grund-

lage für die nationale und internationale Regelung des ökologischen Landbaus, da sie in Teilbereichen deutlich über die EG-Verordnung 2092/91 hinausgehen. Beispielsweise ist in der EG-Verordnung die Tierhaltung zur Zeit überhaupt nicht geregelt.

Im Hinblick auf die Klimarelevanz sind folgende Komponenten des ökologischen Landbaus hervorzuheben (Haas und Köpke, 1994):

— Kohlenstoff

Durch den Einsatz organischer, hofeigen erzeugter Wirtschaftsdünger, insbesondere durch die Anwendung von Stallmist oder kompostiertem Rottemist sowie Bodenruhe und Feldfutterbau wird eine dauerhafte Produktivität des Bodens durch Erhalt und Steigerung des Humusgehaltes und damit der Kohlenstoffeinbindung sowie der Bodenfruchtbarkeit angestrebt (Kap. 2.3.3.1).

— Energie

Nicht erneuerbare Ressourcen sollen möglichst sparsam eingesetzt werden. Die Möglichkeit des Zukaufs von Betriebsmitteln ist reglementiert. Der Einsatzes synthetischer Pflanzenbehandlungs- und Düngemittel ist verboten. Der Zukauf bzw. die Anwendung von mineralischen bzw. organischen Dünge- und Futtermitteln ist erheblich eingeschränkt. Ziel ist das optimale und möglichst verlustfreie Management der innerbetrieblichen Stoffkreisläufe bei Schonung nicht erneuerbarer Energie- und Rohstoffquellen (Kap. 2.3.4.1).

— Stickstoff

Durch den Verzicht auf mineralische Stickstoffdünger und den stark begrenzten Einsatz von Zukauffuttermitteln stellt Stickstoff auf ökologischen Betrieben einen begrenzenden Faktor dar. Ein verlustarmes Nährstoffmanagement wird daher nicht nur zur Vermeidung von Emissionen (Nitrat in Grund- und Oberflächengewässer, Ammoniak und Distickstoffoxid in die Atmosphäre) angestrebt, sondern ist ein wesentlicher Faktor zur Erhaltung der betrieblichen Produktivität (Kap. 2.2.3.1).

— Methan

Die Tierproduktion des ökologischen Landbaus wird von der Rinderhaltung dominiert. Aufgrund begrenzter Zukaufmöglichkeiten von Futtermitteln ist die maximale Anzahl von Wiederkäuern je Einheit betriebseigener Futterfläche auf vergleichsweise niedrigem Niveau (1,4 Dungeinheiten) je ha bzw. 2,1 Milchkühe/Rinder je ha) begrenzt. Die Freisetzung von Methan (und Ammoniak) ist im ökologischen Landbau aufgrund der üblichen Festmist-Stallhaltung

¹⁾ Eine Dungeinheit (DE) entspricht dem Tierbesatz, der eine Menge an Wirtschaftsdünger produziert, die 80 kg N und 70 kg P₂O₅ enthält.

wesentlich geringer als bei den Flüssigmistsystemen in der konventionellen Landwirtschaft (Kap. 2.1.3.1; Kap. 2.4.1).

Der ökologische Landbau betrachtet den landwirtschaftlichen „Betriebsorganismus“ als Ökosystem, dessen Produktivität und Gesundheit sich aus dem Zusammenwirken verschiedener Produktionsbereiche miteinander und mit ihrer Umwelt ergeben. Durch die Abschätzung der Folgen landwirtschaftlichen Handelns auf die Umwelt im weitesten Sinne und durch die selbst auferlegten und gesetzlich vorgeschriebenen Restriktionen ist der ökologische Landbau per se system- und umweltorientiert, obwohl der ökologische Landbau zu Anfang dieses Jahrhunderts nicht primär unter dem Aspekt des Umweltschutzes konzipiert wurde (Haas und Köpke, 1994). Anfang 1994 bewirtschafteten in Deutschland etwa 0,85 Prozent der Betriebe fast 1 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche nach AGÖL-Richtlinien (Tab. 1.5).

Tabelle 1.5

**Fläche und Zahl der Betriebe
im ökologischen Landbau in Deutschland
(Stand jeweils zum Jahresbeginn,
ab 1993 für ABL+NBL) (AID, 1990; BML, 1994 a¹;
SÖL, 1994²)**

Jahr	Fläche in Hektar	Zahl der Betriebe
1960	3 182	141
1970	3 920	210
1980	10 945	579
1985	24 703	1 452
1989	53 831	2 608
1993 ¹⁾	127 240	4 385
1994 ²⁾	161 698	4 941

¹⁾ Hiervon entfielen bereits 147 Betriebe mit 19 509 ha LF auf die neuen Länder.

Darüber hinaus werden in erheblichem Umfang weitere Flächen nach der EG-Verordnung 2092/91 oder dem EG-Extensivierungsprogramm ökologisch bewirtschaftet, ohne daß die Betriebe den anerkannten Verbänden der AGÖL angeschlossen sind. Insgesamt lag die ökologisch bewirtschaftete Fläche in Deutschland bereits Anfang 1993 bei etwa 430 000 ha (2,5 % der LF) in 13 000 Betrieben — mit weiter steigender Tendenz (SÖL, 1994).

Die Erträge des ökologischen Landbaus sind durch das Verbot bzw. die starke Einschränkung produktionssteigernder Mittel im allgemeinen um 10 bis 30 % niedriger als in der konventionellen Landwirtschaft, was jedoch angesichts der derzeitigen Produktionsüberschüsse in vergleichbarer Größenordnung (Tab. 1.13) eher Probleme löst als schafft. Gleichzeitig wird im ökologischen Landbau je Flächeneinheit weit weniger als die Hälfte der fossilen Energie eingesetzt als bei der konventionellen landwirtschaftlichen Produktionsweise (Kap. 2.3.4) (Haas und Köpke, 1994).

1.1.3 Strukturwandel in der Landwirtschaft

Nach dem zweiten Weltkrieg durchlebte die gesamte Gesellschaft in der Bundesrepublik Deutschland einen massiven Strukturwandel und ein enormes wirtschaftliches Wachstum. Dies gilt ebenso — wenn auch in unterschiedlichem Maße — für die anderen westlichen Industrienationen (Kap. 1.1.5). In Gewerbe und Industrie führten Arbeitsteilung und Spezialisierung, moderne Verfahrenstechniken und Massenproduktion, hoher Kapitaleinsatz und Rationalisierungsmaßnahmen zu

- dem Ersatz menschlicher Arbeitskraft durch Maschinen und Energie,
- weitgehender Befreiung von schwerer körperlicher Arbeit,
- kürzerer Arbeitszeit und mehr Freizeit bei den noch
- wachsenden Einkommen und steigendem Lebensstandard.

Für die Landwirtschaft ergab sich durch diese Entwicklung eine wachsende arbeitswirtschaftliche, einkommenspolitische und damit soziale Konkurrenzsituation zur gewerblichen Wirtschaft. Die Rahmenbedingungen wurden hierbei weitgehend von dem nichtlandwirtschaftlichen Sektor vorgegeben. Da die ökologischen Funktionen der Landwirtschaft nicht durch die Preise ihrer Erzeugnisse honoriert wurden, unterlag die Landwirtschaft einem grundlegenden volkswirtschaftlichen Wettbewerbsnachteil. Er zwang die Landwirte dazu, ihre Erzeugungsmöglichkeiten und Produktivitätsspielräume unter rein ökonomischen Gesichtspunkten weitestmöglich auszuschöpfen und dabei den ökologischen Zustand der bewirtschafteten Flächen und damit den Naturhaushalt auch zu ihrem eigenen Nachteil in wachsendem Maße zu beeinträchtigen (SRU, 1985 u. 1992).

Die landwirtschaftlichen Produktionsmethoden und die gesamte Struktur der Landwirtschaft erfuhren in den vergangenen Jahrzehnten erhebliche Veränderungen. Der Anpassungsprozeß und die Entwicklung der Erträge wurde durch die Gemeinsame Agrarpolitik der EG zusätzlich unterstützt. Geprägt durch die Entbehrungen der Kriegs- und Nachkriegszeit sollte durch die massive Förderung des Agrarsektors mit Hilfe von Abnahmegarantien, Festpreisen und Außenschutz möglichst rasch die nationale bzw. die EG-weite Selbstversorgung mit Agrarprodukten erreicht werden. Gleichzeitig sollten Einkommen und Existenz der in der Landwirtschaft beschäftigten Menschen gesichert werden. Diese Preispolitik war unter den damaligen Voraussetzung sicher richtig. Ein System, bei dem die Unterstützung der Landwirte an die Produktionsmengen gebunden ist, stellt einen Anreiz dar, immer mehr zu erzeugen und führt daher zu einer Intensivierung der Produktionsmethoden. Spätestens jedoch als die Selbstversorgung erreicht war, fehlte die notwendige Korrektur der politischen Rahmenbedingungen. Die Entwicklung blieb weitgehend sich selbst überlassen und hatte sehr nachteilige Folgen: Dort, wo intensive Produktionsweisen vorherrschen, werden Gewässer verschmutzt und Böden degradieren; es kommt zu einem Mißbrauch der Natur (EG-Kommission, 1991).

Tabelle 1.6

Ersatz von menschlicher und tierischer Arbeitskraft durch Maschinen (AID, 1989)

	Vorkrieg	1950/51	1970/71	1987/88
	in 1000			
Voll-Arbeitskraft	3 852	3 885	1 363	781,6
Pferde	1 256	1 200	191	217 ¹⁾
Zugkühe	1 972	1 820	27	—
Zugochsen	315	280	2	—
Schlepper	20	139	1 356	1 438
Schlepperleistung				
— kW/100 ha LN	2,2	16,9	205,9	400,7
— kW/Schlepper	18,4	17,3	20,6	33,1

1) Vorwiegend Sport- und Freizeitpferde, aber auch Rückepferde für die Waldarbeit.

Arbeitskräfte in der Landwirtschaft

Im Zuge der Rationalisierung und Mechanisierung wurde die menschliche und tierische Arbeitskraft zunehmend durch Maschinen und den Einsatz von Energie und Betriebsmitteln ersetzt (Tab. 1.6). Der Arbeitskräftebesatz ging von 29,4 AK/100 ha LF (1949) auf 6,1 AK/100 ha LF (ABL; 1991) zurück. Dies führte zu einer Abnahme der in der Landwirtschaft Beschäftigten von 3,9 Mio. (ABL) (1949) auf 831 000 (1991) bei einer nur unwesentlich verringerten landwirtschaftlich genutzten Fläche.

Struktur der landwirtschaftlichen Betriebe

Im gleichen Zeitraum ging die Zahl der landwirtschaftlichen Betriebe im früheren Bundesgebiet von

1,65 Mio. auf 582 000 zurück (Tab. 1.7 und 1.8), während die durchschnittliche Betriebsgröße von 8 ha LF auf 20 ha LF stieg — in den Vollerwerbsbetrieben auf 32 ha LF. Knapp 9 % der Betriebe bewirtschaften mehr als 50 ha LF, haben aber einen Anteil an der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche von 37 %. Dazu kamen 1992 etwa 18 600 Betriebe in den neuen Ländern mit einem wesentlich höheren Anteil von Großbetrieben 35 % der Betriebe über 50 ha LF bewirtschaften über 96 % der gesamten LF in den neuen Bundesländern.

Der Strukturwandel in der Landwirtschaft wird auch durch die Veränderung der Betriebsgrößen bzw. die Anzahl der Betriebe in den einzelnen Betriebsgrößenklassen verdeutlicht (Tab. 1.7).

Dem Aufstockungsprozeß, der weiteren Vergrößerung meist bereits großer Betriebe (>30 ha), steht ein Abstockungsprozeß gegenüber. Bisherige kleine bis

Tabelle 1.7

Verringerung der landwirtschaftlichen Arbeitskräfte und der Zahl der Betriebe im Zeitraum 1949 bis 1990 (ABL) (Priebe, 1994)

	1949	1960	1970	1980	1990/92
Arbeitskräfte (in 1000)					
Landwirtschaftliche Erwerbspersonen (Anzahl)	3 900	2 400	2 146	1 273	831
— Anteil der Landwirtschaft (%)	23	9	8,1	4,7	2,8
Arbeitskräfte-Einheiten (Voll-Ak)	—	2 390	1 526	987	675
Arbeitskräftebesatz (AK je 100 ha LF)	29,4	18,6	12,1	8,1	6,1
Betriebsstruktur					
— Zahl der Betriebe über 1 ha (1000)	1 647	1 385	1 083	797	582
— Nebenerwerbsbetriebe (%)	—	—	35	39	43
— Betriebsgröße (haLF)	8,1	9,3	11,7	15,3	20,2
(% unter 10 ha LF)	76,6	69,3	59,0	51,4	46,0
(% über 50 ha LF)	1,0	1,2	1,8	3,7	9,3

Quelle: Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten; Agrarberichte der Bundesregierung (verschiedene Jahrgänge)

Tabelle 1.8

Landwirtschaftliche Betriebe (> 1 ha LF) und ihre Flächen nach Größenklassen (BML, 1993 b)

Betriebsgröße in ha LF ¹⁾	Zahl der Betriebe							
	Alte Bundesländer				Neue Bundesländer		Bundesrepublik Deutschland gesamt	
	1949	1982	1992	1992 (%)	1992	1992 (%)	1992	1992 (%)
1 bis 2	305 723	97 472	71 630	12,3	2 580	13,9	74 210	12,4
2 bis 5	553 061	146 112	99 825	17,2	3 128	16,8	102 953	17,1
5 bis 10	403 699	140 514	96 431	16,6	2 029	10,9	98 460	16,4
10 bis 15	171 819	96 977	64 594	11,1	1 308	7,0	65 902	11,0
15 bis 20	84 436	75 095	50 309	8,6	878	4,7	51 187	8,5
20 bis 25	51 620	56 912	39 876	6,9	604	3,2	40 480	6,7
25 bis 30	20 550	41 742	32 271	5,5	448	2,4	32 719	5,4
30 bis 40		50 271	44 914	7,7	625	3,4	45 539	7,6
40 bis 50	40 251 ³⁾	25 522	28 008	4,8	463	2,5	28 471	4,7
50 bis 75		22 871	33 210	5,7	828	4,4	34 038	5,7
75 bis 100	12 621 ⁴⁾	5 918	12 052	2,1	842	2,9	12 594	2,1
100 und mehr ...	2 971	4 717	8 814	1,5	5 176	27,8	13 990	2,3
Zusammen	1646 751	764 123	581 934	100	18 609	100	600 543	100
Betriebsgröße in ha LF ¹⁾	Fläche der Betriebe in 1000 ha							
	Alte Bundesländer				Neue Bundesländer		Bundesrepublik Deutschland gesamt	
	1949	1982	1992	1992 (%)	1992	1992 (%)	1992	1992 (%)
1 bis 2	442,1	136,9	99,9	0,9	3,6	0,1	103,5	0,6
2 bis 5	1 828,7	485,8	330,7	2,8	9,9	0,2	340,6	2,0
5 bis 10	2 860,1	1 023,9	698,2	6,0	14,5	0,3	712,7	4,2
10 bis 15	2 092,1	1 197,6	796,8	6,8	16,0	0,3	812,8	4,8
15 bis 20	1 451,1	1 305,3	874,4	7,5	15,2	0,3	889,6	5,3
20 bis 25	1 180,3	1 272,2	892,2	7,6	13,4	0,3	905,6	5,4
25 bis 30	559,2	1 141,5	884,0	7,5	12,3	0,2	896,3	5,3
30 bis 40		1 728,8	1 550,6	13,2	21,5	0,4	1 572,1	9,3
40 bis 50	1 504,5 ³⁾	1 133,6	1 248,5	10,6	20,6	0,4	1 269,2	7,5
50 bis 75		1 361,2	1 999,7	17,0	50,5	1,0	2 050,2	12,2
75 bis 100	817,3 ⁴⁾	503,0	1 029,3	8,8	47,0	0,9	1 076,3	6,4
100 und mehr ...	544,1	755,6	1 326,5	11,3	4 886,5	95,6	6 213,0	36,9
Zusammen	13 279,6	12 045,6	11 730,8	100	5 111,0	100	16 841,8	100

1) 1949 landwirtschaftliche Nutzfläche

2) vorläufig; Daten der Stadtstaaten aus dem Vorjahr übernommen

3) Zahl bzw. Fläche der Betriebe in der Betriebsgrößenklasse 30 bis 50 ha

4) Zahl bzw. Fläche der Betriebe in der Betriebsgrößenklasse 50 bis 100 ha

Tabelle 1.9

Handelsdüngerverbrauch (ABL)
(in kg Reinnährstoff/ha LN)
(BML, 1992 a u. 1993 d)

Jahr	Stickstoff N	Phosphat P ₂ O ₅	Kali K ₂ O	Kalk CaO
1938/39	23,4	28,3	43,4	56,4
1950/51	25,6	29,6	46,7	47,5
1960/61	43,4	46,4	70,6	37,4
1970/71	83,3	67,2	87,2	49,5
1980/81	126,6	68,4	93,4	92,9
1987/88	133,9	56,8	72,3	105,3
1988/89	129,2	54,0	74,5	127,2
1989/90	125,1	49,9	66,5	119,8
1990/91	115,3	42,9	62,3	120,8
1991/92	114,1	37,1	53,2	103,5
1992/93	108,2	34,0	48,4	105,0

Energieeinsatz je Fläche leicht abgenommen hat. Die Ernteerträge je Fläche und die Produktionsmenge sind dennoch — beispielsweise durch züchterischen und technischen Fortschritt — stetig weiter gestiegen. Die weitere Steigerung der Produktion trotz der im Nahrungs- und Futtermittelbereich seit Jahren wachsenden Produktionsüberschüsse führt zu problematischen Umweltbelastungen und entsprechenden Umwelt- und Marktordnungskosten. Die Produktion sollte sich statt dessen vor allem anderen an dem Erhalt des wichtigsten Produktionsfaktors der Landwirtschaft, dem Erhalt des Bodens und seiner dauerhaften Tragfähigkeit und Fruchtbarkeit orientieren. Selbst wenn das derzeitige Niveau des Betriebsmitteleinsatzes und die Produktivitätssteigerung betriebswirtschaftlich noch sinnvoll erscheinen mag, liegt hier eine volkswirtschaftliche Fehlallokation und Verschwendung knapper Ressourcen vor. Dies gilt um so mehr, wenn man die weiteren negativen Effekte und gesellschaftlichen Kosten der hohen Produktionsintensität insbesondere im Bereich der Düngung (Eutrophierung, Versauerung, Nitratauswaschung, Spurengasfreisetzung etc.; Kap. 1.2.1) mit in Betracht zieht. Das Ziel der Agrarreform des Jahres 1992 ist daher eine Extensivierung der intensiven landwirtschaftlichen Produktionsweise, um die bisherige Überschussproduktion wieder auf ein sinnvolles Maß zurückzuführen.

Strukturwandel und Steigerung der Produktionsintensität gingen in den vergangenen Jahrzehnten Hand in Hand. Mit der Größe der Betriebe nimmt tendentiell auch deren spezielle Intensität (Betriebsmitteleinsatz/ha LN) zu. Die Agrarberichte der vergangenen Jahre weisen aus, daß der Aufwand für Dünger und Pflanzenschutz mit den Betriebsgrößenklassen ansteigt, womit jedoch keine Aussage über die Wirtschaftlichkeit des Faktoreinsatzes verbunden ist. Der Zusammenhang zwischen Faktoreinsatz, Betriebsgröße und möglicher Umweltbelastung wird

mittlere Haupt- oder Zuerwerbsbetriebe (10 bis 30 ha) werden häufig im Nebenerwerb weiterbewirtschaftet. Je kleiner die Betriebe sind, desto eher werden sie vollständig aufgegeben (Schmitt, 1989). Dieser Aspekt des Strukturwandels wird häufig auch mit dem Schlagwort „Wachsen oder weichen“ umschrieben. 1991/92 wurden 43 % der bundesdeutschen Betriebe im Nebenerwerb und 8 % im Zuerwerb bewirtschaftet. Diese Tatsache spielt in der agrarpolitischen Diskussion derzeit nur eine geringe Rolle, da diese Betriebe weniger gefördert werden als die größeren Haupterwerbsbetriebe (Tab. 1.15). Im Zuge der Spezialisierung im Ackerbau und der Konzentration in der Tierhaltung ging auch die Zahl der Gemischtbetriebe (mit mehreren Produktionszweigen) deutlich zurück. 1970 lag deren Anteil noch bei mehr als einem Fünftel aller Betriebe, 1991 bei nur noch 4 % (Priebe, 1994).

Energieeinsatz

Neben dem Einsatz von Maschinen und Treibstoffen nahm vor allem der Verbrauch von Mineraldüngern, chemischen Pflanzenschutzmitteln und Zukauffuttermitteln zu. Hierdurch stieg der Verbrauch von Energie bzw. energieintensiven Vorleistungen drastisch an. In den fünfziger und sechziger Jahren stieg der direkte Energieeinsatz in der Landwirtschaft im Mittel um 9,1 % pro Jahr, während die Bruttobodenproduktion im jährlichen Durchschnitt um 1,3 % zunahm. In den siebziger Jahren stieg der Energieeinsatz insgesamt nur noch um 1,6 % pro Jahr (Kap. 2.3.4) (KTBL, 1987). Der Anstieg im Energieverbrauch hat sich jedoch in der jüngsten Vergangenheit weiter verlangsamt und ist bereits teilweise rückläufig. Das Verhältnis zwischen dem Energieeinsatz für die Produktion (Energie-Input) und dem Energiegehalt des Produktes (Energie-Output) hat sich aufgrund der steigenden Produktionsintensität in den vergangenen Jahrzehnten generell zunehmend verschlechtert (Lünzer, 1992 a u. b; Weber, 1979; Pimentel u. a., 1973, In: Lünzer, 1992 a u. b; Pimentel und Pimentel, 1978, In: Lünzer, 1992 a u. b) (Kap. 2.3.4). Die ausschließlich energetische Bewertung sehr unterschiedlicher Produkte auf der Basis der physikalischen Einheit des Brennwertes ist zur Erstellung einer Energiebilanz der landwirtschaftlichen Erzeugung jedoch sehr fragwürdig und unzureichend. Die Qualität von Lebensmitteln sowie die negativen Begleiterscheinungen der Produktionsweise bleiben bei dieser Betrachtungsweise gänzlich unberücksichtigt (KTBL, 1987; Haas und Köpke, 1994).

Düngemiteileinsatz

Die mineralische Düngung ist allein für etwa ein Viertel des gesamten Energieverbrauchs in der konventionellen Landwirtschaft verantwortlich (Abb. 2.17; Kap. 2.3.4). Der Einsatz von mineralischen Stickstoffdüngern hat sich von 1950 bis 1980 verfünffacht (Tab. 1.9).

Seit Ende der achtziger Jahre ist die Düngemittelausbringung je Fläche gesunken, wodurch auch der

Tabelle 1.10

Aufwand (1991/92) für Dünger und Pflanzenschutz nach Betriebsgrößenklassen und Standortverhältnissen in DM/ha LN (BML, 1993 b)

Betriebsform	Standort	Vollerwerbsbetriebe			Durchschnitt
		klein ¹⁾	mittel ²⁾	groß ³⁾	
Marktfrucht	schlecht	344	451	505	445
	mittel	433	476	528	497
	gut	473	551	575	543
Futterbau	schlecht	226	271	304	266
	mittel	296	289	324	311
	gut	182	358	367	333
Veredlung	Durchschnitt	348	398	422	385
Obstbau	Durchschnitt	953	1 252	1 457	1 253
Weinbau	Durchschnitt	958	699	590	719
Betriebe insgesamt	schlecht	266	306	360	311
	mittel	376	392	427	408
	gut	429	502	516	492
	Durchschnitt	295	338	400	351

1) Kleine Betriebe = unter 40 000 DM Standardbetriebeinkommen (StBE)

2) Mittlere Betriebe = 40 000 bis 60 000 DM StBE

3) Große Betriebe = 60 000 DM und mehr StBE

auch durch die jeweiligen Gegebenheiten des Agrar-ökosystems (Bodenart, Anbausystem, Regionalklima etc.) mitbestimmt. Je nach Produktionszweig können auch kleine Betriebe stark umweltbelastend wirtschaften (v. a. Sonderkulturen, Gemüsebau).

Struktur der Tierhaltung

In der tierischen Erzeugung ist der Prozeß der betrieblichen Spezialisierung und regionalen Konzentration besonders weit fortgeschritten, was zu einer weitgehenden Entkopplung von Pflanzenbau und Tierhaltung führte. Die heutige Tierhaltung kann unterteilt werden in:

- eine weitgehend flächenunabhängige Schweine- und Geflügelhaltung in großen Tierbeständen (Massentierhaltung) auf Grundlage von Zukauf- bzw. Importfuttermitteln und entsprechenden Umweltbelastungen;
- eine derzeit noch überwiegend flächen- bzw. grünlandabhängige Rinderhaltung/Milchkuhhaltung auf der Grundlage von Dauergrünland und Ackerfutterbau, mit einem steigenden Anteil von Zukauf- bzw. Importfuttermitteln zur Rationsergänzung (SRU, 1985 u. 1992).

Der aktuelle Tierbestand in den neuen und alten Bundesländern geht aus Tab. 1.11 hervor. Die strukturelle Veränderung und wachsende Konzentration sowie die drastische Zunahme des Tierbestandes

Tabelle 1.11

Tierhaltung in der Bundesrepublik Deutschland (Stand: 3. Dezember 1992) (BML, 1993 c)

Tierart	Alte Bundesländer	Neue Bundesländer	Gesamt
Milchkühe	4 328 800	1 036 400	5 365 200
Rinder < 1 Jahr	4 648 900	823 100	5 472 000
Rinder > 1 Jahr	4 398 800	971 200	5 370 000
Schafe	1 706 300	679 600	2 386 000
Schweine	22 114 800	4 399 600	26 514 400
Pferde	460 500	70 500	531 000
Geflügel	80 751 400	23 262 600	104 014 000

Tabelle 1.12

**Strukturelle Veränderungen in der Tierhaltung der Bundesrepublik Deutschland (Alte Bundesländer)
(nach AID, 1989; BML, 1993 c¹⁾)**

Tierart	1950	1970	1988	1992 ¹⁾
Rinder insgesamt				
Tierzahl	11 149 000	14 026 000	14 569 000	13 376 600
Halter	1 536 000	843 000	391 000	311 100
durchschnittliche Herdengröße	7,3	16,6	37,3	43
davon Milchkühe				
Tierzahl	5 734 000	5 561 000	5 024 000	4 328 800
Halter	1 333 000	722 000	308 000	226 400
durchschnittliche Herdengröße	4,3	7,7	16,3	19,1
durchschnittliche Jahresmilchleistung/Kuh	2 560	3 812	4 717	k.A.
Schweine				
Tierzahl	11 890 000	20 969 000	22 639 000	22 114 800
Halter	2 394 000	1 028 000	333 000	256 300
durchschnittliche Bestandsgröße	5	20	68	86
geschlachtete Schweine	10 700 000	30 051 000	38 936 000	k.A.
Legehennen				
Tierzahl	44 761 000	77 080 000	72 035 000	46 152 300
Halter	1 751 000	1 305 000	284 000	219 300
durchschnittliche Bestandsgröße	26	59	254	210

während der vergangenen Jahrzehnte, vor allem im Bereich der Mastschweinehaltung, aber auch der aktuelle Rückgang der Tierzahlen ist Tab. 1.12 zu entnehmen.

Im früheren Bundesgebiet wurden 1991/92 etwa 65 % der Schweine in Beständen über 200 Tieren gehalten und 71 % der Legehennen in Beständen über 5000 Tieren (Tab. 1.12).

Die flächenunabhängigen Massentierhaltungen insbesondere in NW- und Ost-Deutschland, Belgien, Dänemark und den Niederlanden basieren auf beträchtlichen Futtermittelimporten, die zu einem großen Teil aus Entwicklungsländern, aber auch aus den USA stammen (EK, 1990 a). Insgesamt wurden von der EG 1992 etwa 18,5 Mio. t Getreidesubstitute (Maniok, Tapioka, Soja etc.) importiert. Die Futtermittelimporte beliefen sich allein in der Bundesrepublik 1992 auf fast 9 Mio. t, davon 3,75 Mio. t Getreidesubstitute (BML, 1993 b und 1994 a), trotz erheblichen Überschüssen auf dem nationalen und EG-Getreidemarkt. Gleichzeitig exportierte die EG aufgrund wachsender Überschüsse fast 30 Mio. t Getreide (Priebe, 1994).

Der zunehmenden Konzentration in der Tierhaltung folgte aus arbeitstechnischen Gründen eine weitgehende Umstellung der Stallhaltung von Festmist- auf Flüssigmistsysteme (Gülle), so daß regional hohe Gülleüberschüsse anfallen. Außerdem sind die Spu-

rengasemissionen aus Flüssigmistsystemen (Lagerung) bzw. bei der Gülleausbringung besonders hoch (Kap. 2.1.3 und Kap. 2.4.1). Gleichzeitig wurde im Bereich des Feldfutterbaus der traditionelle bodenverbessernde Klee- und Klee gras-Anbau durch den ertragreicheren, aber bodenschädigenden und gälletoleranten Maisanbau verdrängt (Tab. 1.3 und Kap. 2.3.3.1, Abb. 2.14).

Ertragssteigerung

Seit Beginn des 19. Jahrhunderts bis etwa zur Mitte dieses Jahrhunderts war es der deutschen Landwirtschaft bereits gelungen, die Produktionsleistung je Fläche allein durch eine biologische Intensivierung um das Vierfache zu steigern (Priebe, 1994). Wesentlichen Anteil hieran hatte die Einführung der Leguminosen²⁾ (Rotklee-Feldfutterbau) in die alte Dreifelderwirtschaft (Kühbauch, 1993).

²⁾ Pflanzen aus der Familie der Leguminosen (Hülsenfrüchte wie Klee, Luzerne, Wicken, Erbsen, Bohnen) können in Lebensgemeinschaft (Symbiose) mit Mikroorganismen (Knöllchenbakterien) molekularen Luftstickstoff (N₂) binden und in ihre organische Substanz einbauen. Nach dem Abbau der Leguminosen-Biomasse im Boden kann der Stickstoff von den Nutzpflanzen aufgenommen werden. Der Anbau von Leguminosen innerhalb der Fruchtfolge stellt nach wie vor die wesentliche Stickstoffquelle im ökologischen Landbau dar.

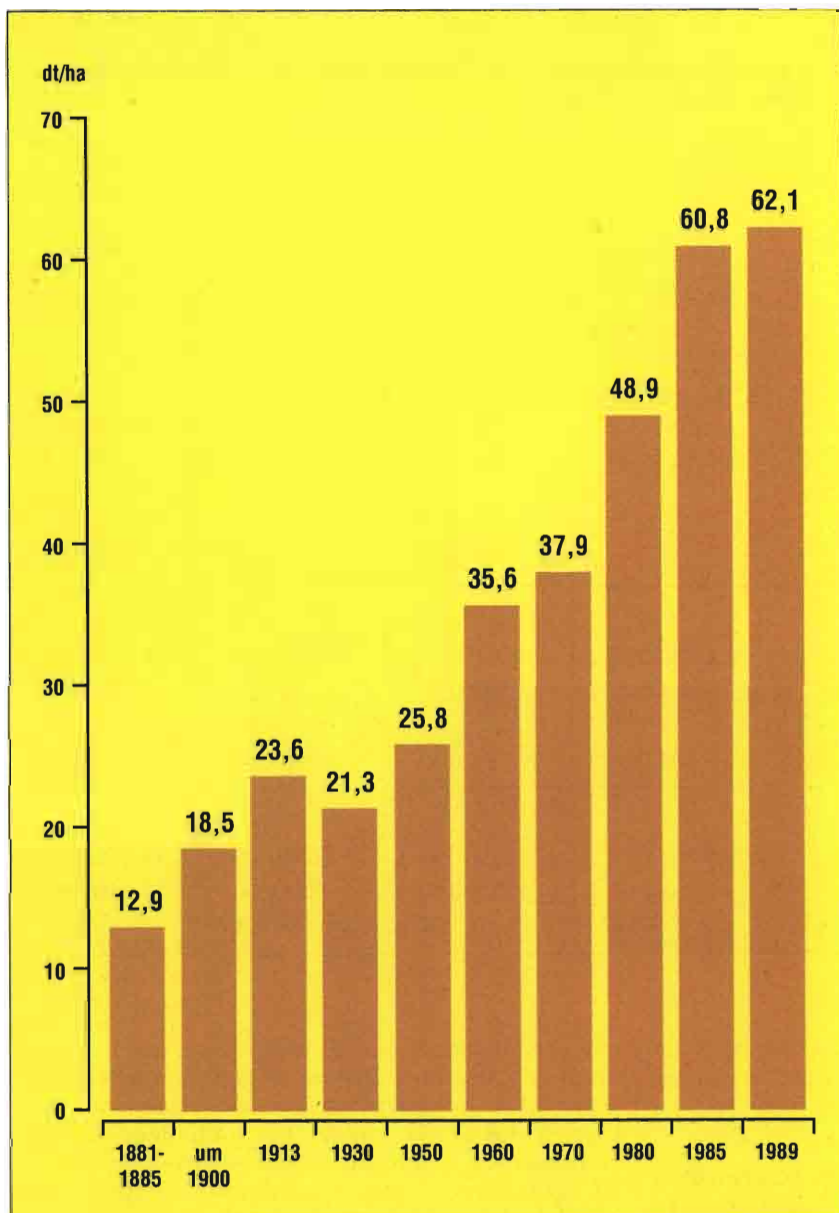


Abbildung 1.1: Entwicklung der Weizenträge in der Bundesrepublik Deutschland bzw. im Deutschen Reich während der vergangenen 100 Jahre (AID, 1990).

Als Folge des beschriebenen Strukturwandels und des biologisch-technischen Fortschritts stieg die Bruttobodenproduktion im früheren Bundesgebiet seit 1970 von etwa 50 Mio. t auf heute über 86 Mio. t Getreideeinheiten (GE), was einer Steigerung von 42 auf 74 dt GE/ha entspricht (Priebe, 1994). Die vorleistungsintensiven Produktionsverfahren ermöglichten bei einigen Fruchtarten sogar mehr als eine Verdoppelung der Flächenerträge seit 1950. Die langfristige Ertragsentwicklung ist am Beispiel der Weizenträge in Abb. 1.1 dargestellt.

Überschüsse und Agrarmarkt

Zwischen 1973 und 1988 stieg die landwirtschaftliche Produktion in der EG um jährlich 2 %; der Verbrauch von Agrarprodukten wuchs im gleichen Zeitraum nur

um 0,5 % pro Jahr. Bereits im Verlauf der siebziger Jahre überschritt das deutsche bzw. EG-weite Angebot verschiedener Agrarprodukte die Nachfrage erheblich. Von der derzeitigen EU-Getreideproduktion in Höhe von etwa 180 Mio. t/Jahr werden innerhalb der EU lediglich 140 Mio. t verbraucht (EG-Kommission, 1993). Die EG- und weltweite Agrarpolitik reagierten hierauf jedoch nur unzureichend und in Teilbereichen, z. B. mit Produktkontingentierung im Zucker- und Milchmarkt. Die bisherigen Ergebnisse der EG-Agrarpolitik sind nicht zufriedenstellend. Die Selbstversorgungsgrade liegen nach wie vor bei einer Reihe von Agrarprodukten in vielen Ländern bzw. EG-weit bei 120 bis 130 %. Bei der Produktion von Gemüse, Obst, Hülsenfrüchten oder pflanzlichen Ölen ist man dagegen — zumindest national — noch weit von einer Selbstversorgung entfernt.

Tabelle 1.13

Selbstversorgungsgrad der EU bei verschiedenen Nahrungsmitteln (in Prozent) (BML, 1994 a)

Nahrungsmittel	EG	B/L	DK	D	GR	E	F	IRL	I	NL	P	GB
Getreide (91/92)	126	55	144	127	127	95	238	120	85	29	56	122
Weichweizen (91/92)	136	78	158	140	66	78	235	104	54	46	58	135
Gerste (91/92)	133	61	140	136	78	109	234	144	74	25	57	135
Zucker (91/92)	123	196	211	137	82	79	207	172	94	180	0	54
Gemüse (90/91)	—	126	—	41	138	109	—	80	122	245	—	—
Obst (90/91)	—	54	—	20	136	112	—	15	115	78	80	—
Wein (91/92)	96	4	—	58	114	154	94	—	135	—	141	—
Rindfleisch ¹⁾ (1991)	115	178	213	137	32	95	119	977	62	173	75	91
Schweinefleisch (1991) . . .	104	180	381	87	73	97	88	126	67	272	91	72
Milch insgesamt (1991) . .	109	105	191	106	—	—	115	335	76	217	—	84
Butter (1991)	111	99	165	101	27	170	98	1225	75	248	107	60
Magermilchpulver (1991) .	129	164	131	333	—	107	124	1830	—	29	86	96

¹⁾ Rind- und Kalbfleisch

Das Auseinanderklaffen von Verbrauchs- und Produktionsentwicklung führte nicht nur zu hohen Überschüssen, sondern auch zu entsprechend steigenden Marktordnungskosten. Von 1973 bis 1988 stiegen die Agrarausgaben der EG um jährlich 7 %. Während 1982 die Ausgaben zur Stützung der Agrarmärkte noch ungefähr 30 Mrd. DM betrugen, beliefen sie sich im Jahr 1990 auf weit über 60 Mrd. DM (EG-Kommission, 1993). 1992 lag der EG-Agrarhaushalt bei insgesamt 75 Mrd. DM. Von den Agrarausgaben entfielen 88 % oder 61,5 Mrd. DM allein auf die Marktordnung (Intervention, Lagerhaltung, Exporterstattung). Die nationalen und EG-Agrarmarktausgaben kommen damit weit weniger den Landwirten als vielmehr den mit der Marktordnung (Lagerhaltung und Transport, Agrarhandel und -export, inferiore Verwertung) befaßten Unternehmen zugute.

Die EG-Interventionsbestände (Lagerhaltung der Überschüsse) beliefen sich Ende 1992 u. a. auf 25,3 Mio. t Getreide, 241 000 t Butter, 147 000 t Magermilchpulver und 871 000 t Rindfleisch (BML, 1993 b). Erhebliche Mengen der — zu Festpreisen aufgekauften — Agrarüberschüsse werden mit Hilfe hoher Exportsubventionen außerhalb der EU verkauft. Dies verstärkt den Preisverfall auf dem Weltmarkt. Je tiefer dort die Preise sinken, umso mehr Exportsubventionen müssen aufgewandt werden, um die Überschüsse weiterhin absetzen zu können. Die sinkenden Agrarpreise auf dem Weltmarkt führen zu Schwierigkeiten im gesamten Welthandel, ernsten Problemen der zahlreichen Agrarexporteure unter den Entwicklungsländern und ständigen Auseinandersetzungen bei den laufenden GATT-Verhandlungen. Ob die Agrarreform 1992 beim Abbau vorhandener Überschüsse und zu hoher Produktionskapazitäten bzw. -intensitäten erfolgreich sein wird, kann derzeit noch nicht beurteilt werden.

Einkommenssituation in der Landwirtschaft

In § 1 des Deutschen Landwirtschaftsgesetzes ist die Forderung formuliert, daß die Landwirtschaft in den Stand gesetzt werden soll, ihre „naturbedingten und wirtschaftlichen Nachteile“ auszugleichen, um die soziale Lage der in der Landwirtschaft tätigen Menschen an die vergleichbarer Berufsgruppen anzugleichen. Weitaus gravierender als die Einkommensunterschiede zwischen den Beschäftigten in der Landwirtschaft und der gewerblichen Wirtschaft sind jedoch die Einkommensunterschiede innerhalb der Landwirtschaft. Das durchschnittliche Betriebseinkommen je Vollerwerbsbetrieb lag 1991/92 im obersten Viertel der Betriebe bei 127 536 DM, im oberen Viertel bei 67 051 DM, im unteren Viertel bei 45 946 DM und im untersten Viertel bei 24 683 DM (BML, 1993 b).

Die Betriebseinkommen können zwischen kleinen Betrieben in schlechten Lagen und großen Betrieben in guten Lagen um deutlich mehr als den Faktor 10 voneinander abweichen. Der Grund hierfür liegt jedoch weit weniger in der Qualifikation des Betriebsleiters (BML, 1993 b), als vielmehr in der bisherigen Subventionspraxis und in der Betriebsgröße. Dies wird auch deutlich am Anteil der Beihilfen und Transferzahlungen am Betriebseinkommen unterschiedlich großer landwirtschaftlicher Betriebe (Tab. 1.15).

Die Summe von unternehmensbezogenen Beihilfen und personenbezogenen Transferzahlungen erreichte 1992/93 im Durchschnitt der Vollerwerbsbetriebe 19 814 DM (21 % mehr als im Vorjahr). Wegen der gleichzeitig sinkenden Gewinne erhöhte sich der prozentuale Beitrag der unternehmens- und personenbezogenen staatlichen Leistungen am Gewinn in

Tabelle 1.14

Einkommensstreuung der landwirtschaftlichen Vollerwerbsbetriebe¹⁾ im früheren Bundesgebiet
(Gewinn in DM je Unternehmen) (BML, 1993 b)

Betriebsform/Betriebsgröße	Durchschnitt	Oberstes Viertel	Unterstes Viertel	Abstand
Marktfrucht	57 849	103 416	19 670	83 746
Futterbau	47 010	74 555	21 886	52 669
Veredlung	61 942	100 992	23 577	77 415
Dauerkultur	50 048	84 121	18 031	66 090
Gemischt	53 594	84 880	24 375	60 505
Kleine ²⁾	35 665	59 872	12 554	47 318
Mittlere ²⁾	49 727	77 442	23 364	54 078
Große ²⁾	77 211	127 283	35 914	91 369
Durchschnitt aller Betriebe ..	50 415	82 431	21 535	60 896

¹⁾ Identische Betriebe: Durchschnitt aus den Wirtschaftsjahren 1989/90 bis 1991/92
²⁾ Größenklassen nach Standardbetriebseinkommen (StBE) (siehe Tabelle 1.10)

Tabelle 1.15

Einkommensbeitrag von unternehmensbezogenen Beihilfen
und personenbezogenen Einkommensübertragungen in landwirtschaftlichen Vollerwerbsbetrieben
(in DM/Unternehmen) (BML, 1994 a)

	Vollerwerbsbetriebe insgesamt			nach Betriebsgröße ¹⁾ 1992/93		
	1990/91	1991/92	1992/93	Kleine	Mittlere	Größere
Gewinn	45 749	47 721	44 707	31 090	44 603	66 180
darunter:						
Beihilfen auf Erträge	1 793	1 662	2 088	1 632	1 936	2 922
für Aufwendungen (z. B. Gasölverbrauch) .	1 710	1 661	1 727	1 122	1 634	2 750
Ausgleichszulage	2 046	2 043	2 124	2 031	2 358	2 091
Sonstige Beihilfen ²⁾	9 486	8 150	10 971	8 388	10 453	15 426
Unternehmensbezogene Beihilfen insgesamt	15 035	13 516	16 910	13 173	16 381	23 189
Personenbezogene Beihilfen insgesamt	2 611	2 864	2 903	2 576	2 782	3 511
Gesamteinkommen	50 243	52 737	49 939	35 525	49 142	73 199

¹⁾ Größenklassen nach Standardbetriebseinkommen (StBE): Kleine = unter 40 000 DM StBE; Mittlere = 40 000 bis 60 000 DM StBE; Größere = 60 000 DM und mehr StBE
²⁾ Einschließlich soziostruktureller Einkommensausgleich und Stilllegungsprämien

den Vollerwerbsbetrieben von 31 % 1991/92 auf 40 % 1992/93. Mit durchschnittlicher Betriebsgröße steigt auch der Gesamtbetrag der Beihilfen und Transferzahlungen, allerdings nicht so deutlich wie das Gewinnniveau in den einzelnen Betriebsgrößenklassen. Die geringere Betriebsgröße und die entsprechend geringere Summe aus Beihilfen und Übertragungen führte (neben den z. T. höheren Gesamtein-

kommen) dazu, daß der Beitrag zum Einkommen in den Zuerwerbs- (31 %) und Nebenerwerbsbetrieben (19 %) relativ kleiner als im Vollerwerb war (BML, 1994 a).

Die Struktur- und Marktordnungsausgaben der EG für die Landwirtschaft in Deutschland betrugen 1992 etwa 12,1 Mrd. DM (1993: 13,5 Mrd. DM). Hierzu

kamen weitere 16,7 Mrd. DM (1993: 17,0 Mrd. DM) als öffentliche Hilfen von Bund und Ländern (Tab. 1.16). Die Einkommensstützung erfolgte bis zur Agrarreform 1992 überwiegend in Form von Festpreisgarantien. Die Subventionierung war weitgehend proportional zum Produktionsvolumen und kam daher konzentriert den größten Betrieben mit dem höchsten Intensivierungsgrad zugute. In Europa entfielen beispielsweise auf nur 6 % der Getreideanbaubetriebe die Hälfte der Getreideanbaufläche, auf der wiederum 60 % des gesamten Getreides erzeugt wird. Im Milchsektor entfielen auf 15 % der Betriebe und im Rindfleischsektor auf 10 % der Betriebe die Hälfte der Erzeugung bzw. des Bestandes. Dies führte dazu, daß 80 % der EG-Mittel des Europäischen Ausgleichsfonds für die Landwirtschaft (EAGFL) an nur 20 % der

Betriebe gezahlt wurden, die aber mehr als die Hälfte der landwirtschaftlich genutzten Fläche bewirtschafteten. Die Gemeinsame Agrarpolitik trug daher der großen Zahl kleiner und mittlerer Familienbetrieb unzureichend Rechnung (EG-Kommission, 1991). Im Rahmen der Markt- und Preispolitik floß außerdem nur ein geringer Teil der Marktordnungsausgaben direkt den Landwirten zu. Der weitaus größte Teil dieser Mittel wurde an die der Landwirtschaft nachgelagerten Wirtschaftszweige (Agrarhandel, Lagerung, Transport etc.) ausgezahlt. Durch die Beschlüsse der Agrarreform soll mit Hilfe direkter Einkommens-transfers der den Landwirten zufallende Anteil der Subventionen ansteigen, während die Stützung der landwirtschaftlichen Einkommen über die Preispolitik zurückgeht (BML, 1993 b).

Tabelle 1.16

**Öffentliche Hilfen im Sektor Landwirtschaft¹⁾ (ab 1992: Alte Bundesländer und Neue Bundesländer)
(in Mrd. DM) (Agrarberichte des BML, verschiedene Jahre)**

	1987	1990 ²⁾	1991 ²⁾	1992 ²⁾	1993 ²⁾	1994 ²⁾
Finanzhilfen des Bundes und der Länder zusammen ³⁾	4,61	6,4	10,9	10,3	9,6	8,4
darunter: Gemeinschaftsaufgabe ⁴⁾	1,91	2,4	3,3	4,0	3,5	3,4
Gasölverbilligung	0,66	0,7	0,9	1,0	0,9	0,9
Unfallversicherung	0,45	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
Soziostruktureller Einkommensausgleich ⁵⁾	—	1,1	2,2	2,6	1,7	0,9
Weitere Bundesmittel im Rahmen der Agrarsozialpolitik ⁶⁾	4,00	4,7	4,8	5,1	5,8	6,1
darunter: Altershilfe ⁷⁾	2,42	2,9	3,3	3,5	3,8	4,1
Krankenversicherung	1,19	1,3	1,5	1,6	1,9	2,0
Steuermindereinnahmen ³⁾	3,84	2,6	2,9	1,3	1,6	1,5
darunter: Einkommensausgleich über die Umsatzsteuer	2,40	1,5	1,8	k.A.	k.A.	k.A.
Hilfen des Bundes und der Länder zusammen	12,44	13,6	18,5	16,7	17,0	16,0
darunter: Bundesanteil	9,13	10,6	14,2	13,1	13,1	12,5
nachrichtlich: EG-Finanzmittel im Agrarbereich für die Bundesrepublik Deutschland ³⁾⁸⁾	9,91	12,1	14,9	15,5	13,5	k.A.

¹⁾ Einschließlich Forstwirtschaft und Fischerei

²⁾ Geschätzt

³⁾ Subventionen im Sinne des Subventionsberichtes

⁴⁾ Ohne Angaben für den Küstenschutz, Dorferneuerung; Ausgaben für Wasserwirtschaft werden zu 50 Prozent zugeordnet. Einschließlich Sonderrahmenplan

⁵⁾ Soziostruktureller Einkommensausgleich im früheren Bundesgebiet und ab 1991 Anpassungsbeihilfen in den neuen Ländern; für 1994 nur Bundesmittel berücksichtigt

⁶⁾ Unfallversicherung, Landabgaberente, Nachentrichtungszuschüsse und Produktionsaufgaberente sind bereits in den Finanzhilfen nachgewiesen. Bundesmittel für die soziale Sicherung der in den neuen Ländern im Sektor der Landwirtschaft Tätigen sind nur insoweit enthalten, als sie nicht dem allgemeinen Sozialversicherungssystem zufließen

⁷⁾ Altershilfe einschließlich Zusatzaltersversorgung

⁸⁾ Marktordnungsausgaben der EG einschließlich EG-Strukturfondszahlungen und ab 1991 EG-Sonderprogramm für die neuen Länder

Tabelle 1.17

Vergleich der Landwirtschaft innerhalb der EG:

- Zahl der Betriebe (1987) (in 1 000) ¹⁾
- Durchschnittliche Betriebsgröße (ha LF/Betrieb) (1987) ¹⁾
- Durchschnittliche Betriebsgröße (ha LF/Betrieb) der Vollerwerbsbetriebe (VE) (1990/91) ²⁾
- Endproduktion der Landwirtschaft (in Mrd. ECU) (1989) ³⁾
- Beitrag der Landwirtschaft zum Bruttoinlandsprodukt (in %) (1991) ⁴⁾
- Anteil der Tier- und Pflanzenproduktion (in %) (1991) ⁴⁾
- Anteil der Landwirtschaft an der Beschäftigung (in %) (1991) ⁴⁾

	EG	D	B	DK	F	GR	GB	IRL	I	L	NL	P	E
Betriebe (in 1000)	8 644	705 ⁵⁾	93	87	982	953	260	217	2 784	4	132	636	260
Betriebsgröße (ha)	13,4	16,8 ⁵⁾	14,8	32,2	28,6	4,0	64,4	22,7	5,6	30,2	15,3	5,2	13,8
Betriebsgröße - VE (ha)	22,2	28,9	25,5	34,2	44,8	6,4	109,7	34,6	9,3	49,8	22,0	11,8	22,0
Endproduktion . .	201,5	28,9	6,1	6,9	46,6	8,0	19,4	4,3	36,7	0,2	15,7	3,5	25,2
Anteil am BIP . . .	—	1,1	1,7	3,5	2,8	11,6	1,2	7,2	3,0	1,7	4,1	4,1	4,0
Anteil Pflanzen . .	—	35,7	37,3	35,4	54,6	71,1	40,7	13,1	60,7	17,9	42,6	50,6	61,7
Anteil Tiere	—	64,3	62,7	64,6	45,4	28,9	59,3	86,9	39,3	82,1	57,4	49,4	38,3
Anteil AK	—	3,4	2,6	5,7	5,8	23,9	2,2	13,8	8,5	3,3	4,5	17,3	10,7

¹⁾ Ergebnisse der EG-Strukturerhebung 1987, In: BML, 1993 b
²⁾ Agrarbericht 1993 (BML, 1993 b)
³⁾ Statistisches Bundesamt, 1992 b
⁴⁾ OECD, 1993
⁵⁾ Früheres Bundesgebiet

Unterschiede in der Agrarstruktur innerhalb der EU

Nach der EG-Strukturerhebung von 1987 wurden in der EG-12 insgesamt 8,64 Mio. landwirtschaftliche Betriebe mit 115,4 Mio. ha LF bewirtschaftet. Darunter haben 1,71 Mio. Betriebe (19,8 %) eine Betriebsfläche unter 1 ha LF (BML, 1992 a und 1993 b). Die regionalen Unterschiede in den Betriebsstrukturen sind teilweise erheblich. Maßgebend hierfür sind insbesondere die Unterschiede in den natürlichen Standortbedingungen, in der Entwicklung der jeweiligen Volkswirtschaften, aber auch historisch gewachsene Besonderheiten der Agrarverfassungen (BML, 1992 a). Die derzeitigen Unterschiede gehen teilweise aus Tab. 1.17 hervor.

Die Entwicklung und der Strukturwandel sowie die Agrarüberschüsse (Tab. 1.13) und Umweltbelastungen der deutschen Landwirtschaft sind mit denen der europäischen, insbesondere der mitteleuropäischen Landwirtschaft vergleichbar. Die wachsenden Agrarüberschüsse, Einkommensdisparitäten und Agrarmarktausgaben erforderten daher eine Reform der EG-Agrarpolitik.

1.1.4 Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik im Jahr 1992

1.1.4.1 Maßnahmen der Agrarreform

Die EG-Agrarmarktordnung mit staatlichen Ankaufgarantien (Intervention) sowie Außenschutz durch

Importzölle und Exportsubventionen wird im Grundsatz beibehalten, unterliegt aber veränderten Rahmenbedingungen. Die wesentlichen Inhalte der im Mai 1992 beschlossenen Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik sind in zwei Maßnahmenkomplexe zu unterteilen:

- 1. Annäherung an das Weltmarktpreisniveau durch deutliche Preissenkungen bei den Marktordnungsprodukten Getreide, Ölsaaten, Eiweißpflanzen und Rindfleisch

Die Stützpreissenkung erfolgt bei Getreide schrittweise um insgesamt etwa 30 % in den drei Wirtschaftsjahren 1993/94 bis 1995/96.

Tabelle 1.18

Marktordnungspreise und Einkommensausgleich für Getreide (BML, 1994 b)

Wirtschaftsjahr	Interventionspreis	Richtpreis	Schwellenpreis ¹⁾	Einkommensausgleich
	in DM/t			
1993/94	275	306	412	55
1994/95	254	283	388	82
1995/96	235	259	365	106

¹⁾ Einfuhr-Mindestpreis

Die Preise bei Ölsaaten und Eiweißpflanzen orientieren sich künftig am Weltmarktpreisniveau. Der Interventionspreis für Rindfleisch wird ebenfalls in drei Schritten bis 1995 um insgesamt 15 % gesenkt. Er beläuft sich ab 1. Juli 1995 auf 686,38 DM je 100 kg. Gleichzeitig werden die Interventionsankäufe von 750 000 t in 1993 schrittweise bis 1997 auf 350 000 t zurückgeführt.

2. Ausgleich der Einkommensverluste durch direkte Transferzahlungen:

Die Ausgleichszahlungen (Tab. 1.18 u. 1.19) werden im pflanzenbaulichen Bereich nach dem Umfang der Anbaufläche, der Auflage zur Stilllegung von Teilflächen (s. u.) und dem Durchschnittsgetreideertrag in der jeweiligen Region bemessen. Legt man den Bundesdurchschnittsertrag zugrunde, ergeben sich für die Ernte 1994 folgende Ausgleichszahlungen je Hektar (Tab. 1.19).

Tabelle 1.19

Durchschnittliche Ausgleichszahlungen¹⁾ in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1994 (BML, 1994b)

Getreide ²⁾	461,42 DM
Ölsaaten	1 120,90 DM
Eiweißpflanzen	856,92 DM
Flächenstilllegung	751,45 DM

¹⁾ Nicht anzuwenden bei der „vereinfachten Regelung“ (Kleinerzeuger-Regelung)

²⁾ Einschließlich Silomais und Zuckermals sowie bei gemischtem Anbau von Getreide, Ölsaaten und Eiweißpflanzen (z. B. Hafer-Bohnen-Gemenge)

Voraussetzung für den Einkommensausgleich im pflanzenbaulichen Bereich ist die Stilllegung von Teilflächen. Die Ausgleichszahlungen erhält nur, wer 15 % seiner ausgleichsberechtigten Anbauflächen innerhalb der Fruchtfolge für eine Vegetationsperiode stilllegt (Rotationsbrache) und frühestens im sechsten Jahr darauf erneut stilllegt. Der Stilllegungszeitraum beträgt mindestens sieben Monate, beginnend mit dem 15. Dezember bis zum 15. Juli des folgenden Jahres. Bei Verkürzung der Rotationsdauer (drei statt sechs Jahre) oder dauerhafter Stilllegung (d. h. für mindestens fünf Jahre) müssen sogar 20 % der Fläche stillgelegt werden. Auf den stillgelegten Flächen muß eine Selbstbegrünung oder eine gezielte Begrünung erfolgen. Die Ausgleichszahlungen werden auch gewährt, wenn die pflanzlichen Erzeugnisse (v. a. Getreide einschl. Silomais) als Tierfutter im eigenen Betrieb verwertet werden. Auch der Anbau nachwachsender Rohstoffe ist ohne Verlust der Stilllegungspremie gestattet. Sogenannte Kleinerzeuger, die Preisausgleich für eine Anbaufläche beantragen, die höchstens der für die Erzeugung von 92 t Getreide benötigten Fläche (ca. 15 ha LF) entspricht, sind von der Stilllegungspflicht befreit. Das sind in Deutschland etwa 82 % aller Betriebe mit einem Anteil von ca. 42 % der Anbaufläche. Diese Kleinerzeuger erhalten für

Getreide (ggf. einschl. Silomais), Ölsaaten und Eiweißpflanzen einen einheitlichen, vom Getreide abgeleiteten Preisausgleich. Kleinerzeuger wird man durch Erklärung. Auch Erzeuger mit größerer Fläche können daher Behandlung als Kleinerzeuger beantragen, erhalten dann jedoch einen Preisausgleich lediglich für die „Kleinerzeugerfläche“. Veredlungsbetriebe, die aufgrund von Umweltbestimmungen (Höchstbesatzdichten, s. u.) bei der Teilnahme an der Flächenstilllegung ihren Tierbestand reduzieren müßten, können ihre Stilllegungsverpflichtung auf andere Erzeuger übertragen.

Die Ausgleichszahlungen im Bereich der Tierhaltung erfolgen durch höhere Ausgleichsprämien für männliche Rinder und Mutterkühe. Die Prämie für männliche Rinder wird in drei Schritten von 94 DM (1992) auf 141 DM (1993) bzw. 177 DM (1994) bis 1995 auf 212 DM je Tier im Alter von 10 Monaten bzw. 424 DM je Tier im Alter von 23 Monaten erhöht. Gleichzeitig steigt die Mutterkuhprämie von 165 DM (1993) auf 224 DM (1994) bzw. 283 DM (1995) je Tier und Jahr. Im Bereich der Schafhaltung bleibt die bisherige Regelung der Prämien für Mutterschafe weitgehend erhalten, es werden aber Bestandsobergrenzen eingeführt.

Die Gewährung der Prämien ist an bestimmte Besatzdichten (1994: 3,0 GVE³⁾/ha Futterfläche; 1995: 2,5 GVE/ha Futterfläche; ab 1996: 2,0 GVE/ha Futterfläche) gekoppelt. Hieraus errechnen sich für jeden Betrieb eine Höchstzahl förderungsfähiger männlicher Rinder und/oder Mutterkühe. Bei einer Besatzdichte unter 1,4 GVE/ha Futterfläche kann zusätzlich eine Ergänzungsprämie (Extensivierungsprämie) von 71 DM je Tier und Altersklasse beantragt werden. Gleichzeitig auf dem Betrieb gehaltene Milchkühe (entsprechend dem Milchkontingent) sowie Mutterschafe, für die eine Prämie beantragt wurde, sind von der Anzahl maximal förderungsfähiger GVE (Fördergrenze) abzuziehen. Andere Tiere (Schweine, Geflügel etc.) werden hierbei jedoch nicht berücksichtigt. Im Kalenderjahr sind pro Betrieb und Altersklasse höchstens 90 Mastbullen/Mutterkühe (ABL) prämienerberechtigt, in den neuen Bundesländern gelten Sonderregelungen. Bei Kleinerzeugern, bei denen die Gesamtzahl der männlichen Rinder, Mutterkühe und -schafe, für die Prämien beantragt werden, bei höchstens 15 GVE liegt, spielt die Besatzdichte bei der Prämiengewährung keine Rolle. Kleinerzeuger wird man auch hier durch Erklärung. Die Tierhöchstzahl je Betrieb bzw. die Besatzdichte stellen jedoch ohnehin keine Ausschußgrenze, sondern nur eine Fördergrenze dar. Die Tierzahl bzw. -dichte je Betrieb kann höher liegen, es werden jedoch nur für die jeweilige Höchstzahl Prämien gewährt.

Zusätzlich zu diesen Marktmaßnahmen wurden im Rahmen der Agrarreform auch reformbegleitende, sog. flankierende Maßnahmen beschlossen. Es handelt sich um die Förderung

1. umweltgerechter und den natürlichen Lebensraum schützender landwirtschaftlicher Produktionsverfahren (EG-Verordnung 2078/92);

³⁾ GVE/ha = Großvieheinheiten je Hektar (ein Bulle wird mit 0,6 GVE bewertet)

2. des Vorruhestandes in der Landwirtschaft (EG-Verordnung 2079/92);
3. von Aufforstungsmaßnahmen auf landwirtschaftlichen Flächen (EG-Verordnung 2080/92).

Im Zuge der Umsetzung der EG-Verordnung 2078/92 ist die Förderung folgender umweltgerechter Produktionsverfahren und Maßnahmen vorgesehen:

- deutliche Verringerung des Einsatzes von Dünge- und/oder Pflanzenschutzmitteln/Herbiziden;
- Extensivierung der pflanzlichen Erzeugung durch andere Maßnahmen;
- Umwandlung von Ackerflächen in extensives Grünland;
- Einführung und Beibehaltung von ökologischen Anbauverfahren;
- Anwendung von Produktionsverfahren, die die Umwelt und die natürlichen Ressourcen schonen bzw. zur Erhaltung des natürlichen Lebensraums und der Landschaft beitragen (z. B. Acker- und Gewässerrandstreifen- sowie Kulturlandschaftsprogramme);
- 20jährige Stilllegung von Ackerflächen für Umweltschutzzwecke (Biotope, Gewässerschutz, Naturparks);
- Reduzierung der Rinder- und Schafbestände je Hektar Weideland/Futterfläche;
- Zucht vom Aussterben bedrohter lokaler Rassen;
- Pflege aufgegebener land- und forstwirtschaftlicher Flächen;
- Fortbildung von Landwirten im Bereich umweltverträglicher Produktionsverfahren;

Auf Grundlage der allgemeinen Richtlinien dieser EG-Verordnung wurden gemeinsam von Bund und Ländern Förderungsgrundsätze entwickelt und in die Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ aufgenommen. Die konkrete, auf regionale Umwelt- und Naturschutzanfordernisse abgestimmte Ausgestaltung der Maßnahmen bzw. Programme obliegt den Bundesländern. Die Verordnung sollte innerhalb von 12 Monaten umgesetzt werden. Dies steht derzeit aber noch aus.

Die Vorruhestandsregelung (EG-Verordnung 2079/92) sieht die Zahlung eines Vorruhestandsgeldes (Produktionsaufgaberente) an Landwirte vor, die ihre landwirtschaftliche Tätigkeit nach dem 55. Lebensjahr einstellen. In Deutschland (ABL) existiert bereits ein Gesetz zur Vorruhestandsförderung (FELEG), dessen Ausdehnung auf die neuen Länder Anfang 1994 erfolgen sollte.

Die EU fördert im Rahmen der EG-Verordnung 2080/92 zukünftig die Aufforstung bisher landwirtschaftlich genutzter Flächen mit einer jährlichen Aufforstungsprämie von bis zu etwa 1400 DM/ha für die Dauer von 20 Jahren. Hierzu kommt noch ein einmaliger Kostenzuschuß zur Aufforstung von bis zu etwa 9400 DM/ha bei Laubwald/Mischwald mit 75 % Laubbäumen bzw. bis zu etwa 7000 DM bei Aufforstung mit Nadelbäumen.

Vorgesehen ist eine breite Staffelungsmöglichkeit der Fördersatzes in Abhängigkeit von der Zahl der Bodenkpunkte (Ertragsmeßzahl) sowie die Unterscheidung von Acker- und Grünlandaufforstung. So wird für Grünlandflächen eine Aufforstungsprämie von bis 600 DM/ha gezahlt. Die Länder haben daher die Möglichkeit, die Prämien so zu bemessen, daß nicht nur ertragsschwache Standorte aufgeforstet werden. In Abstimmung mit regionalen Raumordnungs- und Gebietsentwicklungsplänen sind potentielle Aufforstungsflächen und freizuhaltende Flächen zu bestimmen, auf denen zum Erhalt des Landschaftsbildes auch die Förderung der extensiven Grünlandwirtschaft möglich wäre (Deutscher Bundestag, 1993 d).

1.1.4.2 Auswirkungen der Agrarreform

In agrarpolitischen Kreisen geht man davon aus, daß durch die Agrarreform aufgrund der Senkung der Erzeugerpreise:

- die jährliche Überschußproduktion bei Getreide, Ölsaaten und Eiweißpflanzen in der EU ab 1995 um bis zu 30 Mio. t gesenkt wird, was zu einer Stabilisierung der Weltmarktpreise führen dürfte,
- die spezielle Intensität der pflanzlichen Produktion zurückgeführt wird, d. h. der Verbrauch von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln gesenkt und damit die Emission direkt und indirekt klimawirksamer Spurengase aus der Landwirtschaft reduziert wird,
- Flächen aus der landwirtschaftlichen Produktion ausscheiden und insbesondere für forstwirtschaftliche sowie Umwelt- und Naturschutzzwecke zur Verfügung stehen (BML und BMU, 1993; Scheele und Schmitt, 1993).

Im Bereich der Rinderhaltung wird die Kopplung der Ausgleichszahlungen an Tierbestandsobergrenzen je Betrieb sowie die Senkung der Interventionspreise und -menge den Anreiz zur Verkleinerung der Bestände erhöhen. Die Extensivierungsprämie ($\leq 1,4$ GVE/ha) bringt eine zusätzliche ökologische Entlastung. Die innerbetriebliche Verwertung von Getreide ohne Verlust der Ausgleichszahlungen verbessert die Wettbewerbsfähigkeit der tierischen Veredlung auf der Basis selbsterzeugten Futtergetreides und verringert damit vermutlich den Zukauf bzw. Import von Getreidesubstituten.

Die flankierenden Maßnahmen haben zum Teil eine umweltschützende Zielsetzung und werden auch im Bereich des Klimaschutzes positive Auswirkungen haben. Insbesondere die Förderung der Extensivierung sowie der Umstellung auf bzw. der Beibehaltung des ökologischen Landbaus werden zur Entlastung des Naturhaushaltes beitragen. Neben den extensivierungsfördernden Wirkungen der Stützpreissenkung hat die EG mit der Förderung des rationellen Energieeinsatzes, der Nutzung regenerativer Energiequellen sowie des Anbaus und der Nutzung nachwachsender Rohstoffe weitere Maßnahmen ergriffen, die direkt und indirekt zur Reduktion klimarelevanter Emissionen beitragen. Genaue Aussagen zu den Wir-

kungen der Agrarreform können jedoch erst gemacht werden, wenn erste Erfahrungen aus der Umsetzung vorliegen (BML u. BMU, 1993).

Die Agrarpreissenkungen sind wegen ihres zu erwartenden intensitätsmindernden Effektes grundsätzlich unter ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten ein erster wichtiger Schritt in die richtige Richtung. Es gibt jedoch zahlreiche Kritikpunkte, die die erhofften positiven Effekte der Agrarreform auch im Bereich des Umwelt- und Klimaschutzes teilweise oder gänzlich in Frage stellen. Erste Modellrechnungen von Henrichsmeyer (1993; In: SRU, 1994) haben ergeben, daß die Extensivierungsanreize aufgrund der bisherigen Preiskorrekturen nicht ausreichen, die Nitratbelastung des Grund- und Trinkwassers sowie der Ökosysteme in hinreichendem Maße zu senken (SRU, 1994). Die mit hohen Intensitäten verbundenen Umweltbelastungen werden nicht dadurch vermindert, daß man den Betriebsmittelaufwand auf die Gesamtfläche, d. h. auch auf die stillgelegte, nicht an der Produktion beteiligte Fläche umlegt. Die Extensivierung kann nur durch die generelle Senkung der speziellen Intensität auf der gesamten bewirtschafteten Fläche erfolgen. Andernfalls führt die EG-Agrarreform nicht zu einer Extensivierung, sondern zu einem verstärkten Nebeneinander intensiver Landbewirtschaftung und Nichtnutzung (Flächenstillegung) (Bauer, 1993 b). Damit droht eine Entwicklung hin zu einer „Reservate-Landwirtschaft“.

Die Ausgleichszahlungen haben das wesentliche Manko, daß sie an keinerlei umweltorientierte Bewirtschaftungsauflagen gebunden sind. Es ist daher fraglich, ob sie trotz aller Bekundungen in dieser Form gegenüber der Gesellschaft zu rechtfertigen sind und langfristig aufrecht erhalten werden können. Dennoch hat der Einkommensausgleich den umweltpolitisch positiven Effekt, daß auch unrentable landwirtschaftliche Flächen (Grenzstandorte) vorerst in der Bewirtschaftung verbleiben, weil die Transferzahlungen an die weitere Bewirtschaftung gebunden sind. Da jedoch andererseits nur der Anbau bestimmter Kulturarten gefördert wird, werden die in mehrfacher Hinsicht problematischen monotonen Anbaustrukturen in einigen Regionen Deutschlands bzw. Europas beibehalten (SRU, 1994).

Auch der Bereich der Tierhaltung ist weiterhin problematisch. So wird die Schweine- und Geflügelhaltung von der Agrarreform überhaupt nicht erfaßt (EG-Kommission, 1993). Die Ausgleichszahlungen in der Rinderhaltung werden zwar an Höchstbestandesdichten gekoppelt, die jedoch keine Ausschlußgrenze, sondern nur eine Fördergrenze darstellen. Es gibt mithin keinerlei Sanktionsmechanismen für höhere und somit umweltbelastendere Tierbestandesdichten, außer das für die überzähligen Tiere keine Prämien beantragt werden können. Auch die Übertragung der Stilllegungsverpflichtung auf andere Betriebe, um die Höchstbesatzdichten nicht zu überschreiten, ist im Hinblick auf eine — aus Umwelt- und Klimaschutzgründen — notwendige Kopplung der Tierhaltung an die Fläche auf niedrigem Niveau sehr kritisch zu betrachten.

Die quasi-obligatorische Flächenstillegung dient zudem ausschließlich der Marktentlastung bzw. dem

Abbau der Überschußproduktion und ist zumindest in Form der Rotationsbrache eher umweltschädigend. Aus stillgelegten Flächen kann es zur verstärkten Nährstoffauswaschung und -ausgasung kommen. Aus Sicht des Umwelt- und Naturschutzes besteht zudem die Sorge, daß eine Aufspaltung der Kulturlandschaft in Produktionsflächen mit intensiver Landbewirtschaftung und Bracheflächen ohne jegliche Nutzung stattfindet, was beides zum Verlust der biologischen Vielfalt und der Kulturlandschaft führt. Neben negativen ökologischen Wirkungen werden vor allem in peripheren ländlichen Räumen auch soziale und wirtschaftliche Probleme aufgeworfen (SRU, 1994). Die positiven und negativen Auswirkungen des Anbaus nachwachsender Rohstoffe auf stillgelegten (und anderen) Flächen werden in Kap. 4 diskutiert.

Die Förderung umweltgerechter Produktionsverfahren im Rahmen der flankierenden Maßnahmen ist eindeutig positiv zu beurteilen, die Gewichtung innerhalb des agrarpolitischen Gesamtinstrumentariums und die demzufolge unbedeutende finanzielle Ausstattung ist jedoch als sehr kritisch anzusehen. Viele Programme können nicht in dem vorgesehenen Umfang durchgeführt werden oder es müssen Mittel innerhalb des Etats umgeschichtet werden. Der Anreiz zur Teilnahme an den Extensivierungsmaßnahmen ist zudem aufgrund vergleichsweise niedriger Prämien gering. Die Teilnahme wird daher insbesondere in Grenzstandorten erfolgen, auf denen bereits eine extensive Nutzung vorherrscht (Mitnahmeeffekt). Die Umsetzung der flankierenden Maßnahmen ist auch fast zwei Jahre nach Inkrafttreten der Agrarreform noch nicht erfolgt. Derzeit drohen zudem insbesondere im Bereich der Gemeinschaftsaufgabe weitere Etatkürzungen und Einsparungen.

Nicht nur die erhofften ökologisch positiven Wirkungen, sondern auch die ökonomisch positiven, marktentlastenden Effekte der Agrarreform sind zweifelhaft. Es ist zu befürchten, daß aufgrund der Fülle an Detailregelungen mit zahlreichen Ausweichmöglichkeiten sowie aufgrund des kontinuierlichen technischen Fortschritts die notwendige und erhoffte Reduzierung der hohen Agrarüberschüsse und der gleichfalls hohen Finanzbelastungen des EU-Agrarhaushaltes nicht erreicht wird (von Urff, 1993; Hrubesch, 1993; Beide in: SRU, 1994). Außerdem sind die Ausgleichszahlungen so genau auf die Einkommensverluste durch Preissenkungen zugeschnitten, daß nicht nur die Reduzierung der Überschüsse zweifelhaft wird, sondern daß es auch zu einer lähmenden Bürokratisierung kommen muß (Priebe, 1992). Die planwirtschaftlichen Elemente des bisherigen Systems sind weiter ausgefüllt worden. Die künftigen Aufgaben und Probleme durch regionale Durchschnittserträge bzw. Beihilfenhöhen, Ermittlung der betrieblichen Beihilfefläche, Ermittlung und Nachweis der Kleinerzeugergrenze, Kontrolle der tatsächlichen Flächenstillegung, Ermittlung und Kontrolle der betrieblichen Tierbesatzdichte und Bestandsobergrenzen etc. für den gesamten Bereich der EG sind derzeit kaum abschätzbar. Das künftige Kontrolldefizit ermöglicht daher eine mehr oder weniger legale betriebliche Anpassung an die Erfordernisse (Bauer, 1993 a).

Von der quasi-obligatorischen Flächenstillegung sind ohnehin nur Betriebe mit mehr als ca. 15 ha LF

betroffen; das sind in Deutschland nur etwa 18 % aller Betriebe mit einem Anteil von ca. 58 % der Anbaufläche. Bezogen auf das gesamte Bundesgebiet werden im Wirtschaftsjahr 1993/94 voraussichtlich 10,6 % der Anbauflächen stillgelegt (BML, 1994 b). Die künstliche Verknappung des Produktionsfaktors Boden durch die Flächenstilllegung führt in der Tendenz zu Intensivierungseffekten auf den in der Produktion verbleibenden Flächen (Scheele und Schmitt, 1993). Insbesondere auf guten Standorten könnte es zu einer weiteren Steigerung der Produktionsintensität kommen, um den Ertragsausfall durch die erzwungene Flächenstilllegung zu kompensieren (UBA, 1993; Priebe, 1994). Nach Schätzungen der FAO beläuft sich die Gesamtgetreideernte der EU 1993 (im ersten Jahr nach Inkrafttreten der Reform) mit etwa 167,5 Mio. t lediglich 2 % unter der Durchschnittsernte des Vorjahres (BML, 1994 c).

Die beschlossenen Maßnahmen im Bereich der EG-Rindfleischmarktordnung erzielen auch nach Aussagen des Bundeslandwirtschaftsministers keine ausreichende Marktentlastung (BML und BMU, 1993).

Zusammenfassend urteilt der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen in seinem Umweltgutachten 1994, das er im Februar 1994 der Bundesregierung vorlegte: „Die aktuellen agrarpolitischen Beschlüsse beinhalten keine klare und langfristige Perspektive für eine ökonomische und ökologische Konzeption zukünftiger Landbewirtschaftung. Das Extensivierungsprogramm wird weder seiner marktentlastenden noch seiner ökologischen Zielsetzung in einem Umfang gerecht, wie es der biotische und abiotische Ressourcenschutz erfordert. Mit dem Ziel einer dauerhaft-umweltgerechten Entwicklung muß sich die künftige Landbewirtschaftung stärker an der Erhaltung der Umweltfunktionen orientieren. Eine verstärkte Extensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung, die sich an weitgehend ausgeglichenen Energie- und Nährstoffbilanzen orientiert, ist dringend voranzutreiben. Für die Weiterentwicklung einer dauerhaft-umweltgerechten Landbewirtschaftung sind im Rahmen der europäischen Agrarpolitik einkommenssichernde Transferzahlungen an die Landwirte umfangreicher und zügiger an ökologische Gegenleistungen zu binden. ... Die von der Landwirtschaft ausgehenden negativen externen Effekte sind gemäß dem Verursacherprinzip mit Abgaben zu belegen. Dies betrifft vor allem den Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln. ... Während einer Übergangszeit sind die heute indirekt (durch Preisstützung) oder direkt zur Einkommenssicherung in der Landwirtschaft verwendeten Mittel des Ausrichtungs- und Garantiefonds Schritt für Schritt in Mittel zur Förderung einer dauerhaft-umweltgerechten Landnutzung umzuwandeln“ (SRU, 1994). Diese und weitere Maßnahmen werden in Kap. 4 ausführlich diskutiert. Die Handlungsempfehlungen zielen dabei in erster Linie auf die EG-Ebene, da die nationale Agrarpolitik wesentlich in die europäische Agrarpolitik eingebunden ist.

1.1.5 Blick auf die internationale Landwirtschaft

Die Unterschiede in der Agrarstruktur und der Art und Intensität der Landbewirtschaftung sind bereits inner-

halb Deutschlands oder auf europäischer Ebene ganz erheblich (Tab. 1.17). Noch größer werden die Unterschiede bei einer Betrachtung der globalen Landwirtschaft.

Die Landwirtschaft in den östlichen Teilen Mittel- und Osteuropas erfuhr durch die weitgehende Abschaffung des privaten Eigentums an Grund und Boden einen noch tiefgreifenderen Strukturwandel als in der EG. Durch die Zusammenlegung der Flächen wurden nach westlichen Maßstäben riesige Staatsgüter in ausgeräumten Landschaften geschaffen, die jedoch aufgrund planwirtschaftlicher Ineffizienzen und mangels unternehmerischer Entscheidungsfreiheit eine relativ niedrige Produktivität aufweisen. Dennoch entsprechen die Umweltbelastungen teilweise denen der westeuropäischen Landwirtschaft.

Die sehr großflächige Bewirtschaftung, wie sie vor allem in Osteuropa und den GUS-Ländern, in Teilen Nordamerikas und auch in der vergleichsweise extensiven Landwirtschaft in Australien erfolgt, führt zu erheblicher Bodenerosion und entsprechender Zunahme der Desertifikation (Wüstenbildung) (Kap. 2.3.3). In Nordamerika, Kanada und Teilen Asiens ist die dortige Wirtschaftsweise in ihren Umwelt- und Klimabelastungen weitgehend mit der mitteleuropäischen Landwirtschaft vergleichbar. Dort erwirtschaftet die Landwirtschaft ebenfalls z. T. erhebliche Agrarüberschüsse.

Den wachsenden Agrarüberschüssen der westlichen Intensivlandwirtschaft steht eine erhebliche Unterversorgung in den meisten Entwicklungs- und Schwellenländern gegenüber. Die Ursachen der Unterversorgung liegen sowohl im Bevölkerungswachstum, in der Armut der Bevölkerung, in der Verschuldung der Länder, in Unruhen und kriegerischen Auseinandersetzungen, aber auch in häufigen und anhaltenden Dürreperioden oder in unzureichender Ausbildung und Technik begründet. Eine wesentliche Ursache sind aber auch die sozialen Disparitäten innerhalb der Länder, die insbesondere in der Agrarverfassung vieler lateinamerikanischer und asiatischer Entwicklungsländer deutlich werden. Landwirtschaftliche Nutzflächen befinden sich größtenteils in der Hand weniger Großgrundbesitzer, multinationalen oder staatlicher Unternehmen (EK, 1990 a). Aufgrund dieser Landbesitzverteilung wurde die nachhaltige und auf Selbstversorgung der einheimischen Bevölkerung ausgerichtete Subsistenzwirtschaft zunehmend verdrängt und durch eine exportorientierte Agrarproduktion ersetzt. Erhebliche Anteile der landwirtschaftlichen Flächen werden sehr extensiv bewirtschaftet, zumeist weil die Böden und Standortbedingungen keine intensivere Nutzung zulassen. Wo der Anbau lohnt, werden unter meist ausländischer oder multinationaler Kontrolle bei intensivsten Produktionsbedingungen und bei hohem Einsatz von Agrochemikalien Agrarexportgüter, sogenannte „cash crops“ wie Kakao, Kaffee, Bananen etc. für die westlichen Industrieländer angebaut. Die Produktion dieser cash crops steht dabei in Konkurrenz zur Versorgung der einheimischen Bevölkerung mit Nahrungsmitteln. Sogar Fleisch und Futtermittel werden aus Entwicklungsländern exportiert. Die Massentierhaltung in der EU basiert in weiten Teilen auf billigen

Importfuttermitteln aus Entwicklungsländern, trotz Überproduktion und Preisverfall auf dem EG-Futtergetreide- und Fleischmarkt (EK, 1990 a). Die subventionierten Agrarüberschüsse aus der EU und den USA führten zur deutlichen Senkung der Weltmarktpreise für Agrarerzeugnisse. Subventionierte Exporte in die Entwicklungsländer verdrängen die dortigen einheimischen Produzenten vom Markt, wodurch der Selbstversorgungsgrad in den betroffenen Ländern sinkt und die Entwicklung der Landwirtschaft behindert wird (Deutscher Bundestag, 1994 a). Die meisten Entwicklungsländer sind jedoch vom Export weniger Agrarprodukte oder Rohstoffe abhängig. Die rapide Verschlechterung der „Terms of Trade“ beschleunigt somit den Teufelskreis aus Verschuldung, Exportzwang und Naturzerstörung.

Die von ihren Anbauflächen vertriebenen Bauern drängen gemeinsam mit landlosen Siedlern in die tropischen Wälder. Verstärkt wird dieser Druck auf die Wälder durch das anhaltende Bevölkerungswachstum, staatliche Rahmenbedingungen und die große Armut in der Bevölkerung. Staatliche Siedlungsprogramme förderten vor allem in den achtziger Jahren (in Teilen Asiens und im Amazonasgebiet) die Erschließung durch Landvergabe an Siedler sowie durch Investitionsbeihilfen und Steuererleichterungen für nationale und internationale Unternehmen. Der Raubbau an den tropischen Wäldern ist weitgehend auf Landnutzungsänderungen zurückzuführen. Je zur Hälfte werden die Flächen zunächst für den Wanderfeldbau brandgerodet oder mehr oder weniger dauerhaft genutzt. Meist ist jedoch nur eine sehr extensive Nutzung als Weideland möglich (Kap. 2.3.2) (EK, 1990 a; Amelung und Diehl, 1991). Da die Böden nur wenige Ernten und geringe Erträge zulassen und zudem einer raschen Bodenerosion unterliegen, müssen ständig neue Flächen brandgerodet werden. Das System des ursprünglich nachhaltigen Wanderfeldbaus ist überfordert. Die notwendigen Brachezeiten werden verkürzt und der Ackerbau wird auf ungeeignete Standorte ausgedehnt. In den Savannengebieten ist die Viehdichte zu hoch und Sträucher und Bäume werden als Brennholz schneller verbraucht als sie nachwachsen können (Kap. 2.3.3.1). Rodung, Brandrodung und Überweidung der Flächen sind die Hauptursachen für die rasche Ausbreitung der Wüsten (Desertifikation) (Andersen, 1991; WBGU, 1993). Dieser Entwicklung muß vor allem durch eine standortgerechte und nachhaltige Landbewirtschaftung (z. B. Agroforestry) entgegengewirkt werden. In Anbetracht der Nahrungsmittelknappheit und der Bevölkerungsentwicklung in den Entwicklungs- und Schwellenländern ist zur Sicherung der Ernährung neben der Stabilisierung unbedingt auch eine Intensivierung der Landwirtschaft auf den bereits bewirtschafteten Flächen notwendig.

1.2 Ökologische Bedeutung der Landwirtschaft

1.2.1 Negative Wirkungen der Landwirtschaft auf die Umwelt

Bereits seit Jahrzehnten wird, wie unter anderem auch 1980 in dem Bericht an den amerikanischen Präsidenten (Global 2000) auf die weltweit zunehmende

Umweltbelastung und Naturzerstörung durch die Intensivlandwirtschaft und die fortschreitende Waldvernichtung sowie die davon ausgehenden Gefahren für das globale Klima hingewiesen. Die Brandrodung der tropischen Wälder leistet mit 15 % etwa den gleichen Beitrag zur Klimaänderung wie die anderen landwirtschaftlichen Aktivitäten weltweit (Tierhaltung, Reisanbau, Düngung etc.) (Kap. 2) (EK, 1992). Eine Darstellung der negativen Umweltwirkungen der Brandrodung und Waldvernichtung in den Tropen und Subtropen sowie der Probleme in den Waldgebieten der gemäßigten (u. a. Waldsterben) und der borealen Breiten (großflächige Rodungen) ist Inhalt des Abschnittes C dieses Berichtes. Die Ursachen und Auswirkungen der Waldvernichtung in den Tropen wurden außerdem 1990 ausführlich im zweiten Bericht „Schutz der tropischen Wälder“ der Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ dargestellt.

In Deutschland nutzt die Landwirtschaft etwa die Hälfte der Landesfläche. Der tiefgreifende Wandel der agrarischen Landnutzung hat daher einen erheblichen Einfluß auf die Umwelt. Mit der zunehmenden Intensivierung treten die negativen Umweltwirkungen der Landwirtschaft in den Vordergrund. Eine umfassende und nach wie vor aktuelle Bestandsaufnahme auf nationaler Ebene legte hierzu 1985 der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen mit dem Sondergutachten „Umweltprobleme der Landwirtschaft“ (SRU, 1985 u. 1992) vor.

Die mit der Landbewirtschaftung einhergehenden Umweltbelastungen hängen ebenso wie die Höhe der Emissionen klimawirksamer Spurengase vielfach direkt von der hohen Produktionsintensität in der Intensivlandwirtschaft ab. Die vorleistungsintensive Landwirtschaft in den westlichen Industrieländern trägt durch den Verbrauch fossiler Energieträger vor allem bei der Düngerherstellung, dem Futtermitteltransport und als Treibstoff zur CO₂-Emission bei. Die Methan- und Ammoniakfreisetzung aus der Tierhaltung bzw. Wirtschaftsdüngung hängt wesentlich von der Futterzusammensetzung und dem Stallhaltungs- und Entmistungssystem ab. Besonders hoch sind die Emissionen bei den Flüssigmistsystemen mit Gülledüngung, die insbesondere in der Massentierhaltung verbreitet sind. Ammoniak ist gemeinsam mit den Überschüssen aus der mineralischen Stickstoffdüngung (Auswaschung bzw. Abtrag in Grund- und Oberflächengewässer) Ursache der Eutrophierung natürlicher und naturnaher Ökosysteme. Dies führt dort wiederum zur verstärkten Freisetzung von stickstoffhaltigen Spurengasen (NO_x, N₂O) und trägt zur Zerstörung von Lebensräumen wildlebender Pflanzen und Tiere (z. B. Waldsterben) und damit zur Verringerung der Arten- und Biotopvielfalt in der Landschaft bei. Die zunehmende Spezialisierung und Mechanisierung führt gemeinsam mit der Entkopplung von Tierhaltung und Pflanzenbau zu einer Fruchtfolgeverarmung, dem Rückgang einer geregelten Humuswirtschaft und dem zunehmenden Einsatz schwerer Maschinen. Die Schädigung der Bodenstruktur und die weltweite Zunahme der Erosion erhöhen den Kohlenstoff- und Nährstoffaustrag aus den Agrarökosystemen. Alle landwirtschaftlichen Aktivitäten, die zu einer Verminderung der Kohlenstoffeinbindung in

Agrarökosystemen oder natürlichen Ökosystemen führen, sind letztlich auch klimarelevant. Alle Vorgänge, die in der Landwirtschaft zur Emission klimawirksamer Spurengase führen, werden ausführlich in Kap. 2 dargestellt.

Andererseits wird die Landwirtschaft in erheblichem Umfang durch Immissionen aus anderen Wirtschaftsbereichen belastet. Große Mengen an Stickstoffoxiden, Schwefeldioxid, bodennahem Ozon und Schwermetallen stammen aus den Emissionen im Verkehrs-, Industrie- und Haushaltsbereich bzw. werden durch diese verursacht. Diese Belastungen stellen jedoch aus grundsätzlichen und quantitativen Erwägungen kein Argument zum Verzicht auf Maßnahmen dar, die Umweltprobleme der Intensivlandwirtschaft zu verringern (Conrad, 1987).

Die Landwirtschaft verliert ihre positiven Funktionen (Kap. 1.2.2) nicht allein durch die zunehmende Intensivierung, sondern auch durch die Flächenstillegung in ungünstigen Gebieten und durch den Rückzug der Bewirtschaftung in die Gunsträume. Wo das Land nicht mehr bewirtschaftet wird, droht die Verödung weiter Gebiete (EG-Kommission, 1991). Für den Erhalt aller Funktionen der Landwirtschaft und des ländlichen Raumes ist eine flächendeckende Bewirtschaftung unabdingbar notwendig. Die Einführung einer nachhaltigen und umweltverträglichen Landbewirtschaftung durch eine flächendeckende Extensivierung könnte zudem mehrere drängende Probleme gleichzeitig lösen. Es würden nicht nur die unerwünschten und teuer subventionierten Agrarüberschüsse abgebaut, Ausgaben für die Marktordnung eingespart und der Preis- und Konkurrenzdruck auf dem Weltmarkt verringert, sondern zugleich die Umweltbelastungen und Umweltkosten aus dem Landwirtschaftssektor deutlich reduziert und die klimawirksamen Spurengas-Emissionen gesenkt.

1.2.2 Positive Wirkungen der Landwirtschaft auf die Umwelt

Im Vordergrund der aktuellen Diskussion stehen oft ausschließlich die Umweltbelastungen, die von der derzeitigen Landwirtschaft ausgehen. Die positiven Leistungen, die die Landwirtschaft — über die Produktion von Nahrungsmitteln und Rohstoffen hinaus

— seit jeher erbracht hat und auch heute noch (teilweise) erbringt, werden im allgemeinen weniger beachtet oder gänzlich vergessen. Über Jahrhunderte hinweg haben Land- und Forstwirtschaft die heutige Kulturlandschaft mit ihrer Arten- und Biotopvielfalt erst geschaffen. Landschaftspflege im ökologischen Sinn wurde von der extensiven Landwirtschaft im 18., 19. und der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts als kostenloses Koppelprodukt der Nahrungs- und Rohstoffherzeugung erbracht (Weinschenck, 1987; Bauer, 1993 b). Zu den positiven Leistungen der Landwirtschaft zählen vor allem:

- die Schutz-, Filter- und Reinigungswirkungen für Wasser, Luft und Böden,
- die Pflege und der Erhalt der landwirtschaftlich (und forstwirtschaftlich) geprägten Kulturlandschaft,
- der Erhalt der sozialen Funktionen des ländlichen Lebensraumes für die Menschen,
- die Schaffung und der Erhalt von Arbeitsplätzen im ländlichen Raum,
- der Freizeit- und Erholungswert für die ländliche Bevölkerung, vor allem aber für die Menschen in den Städten und Ballungsräumen.

Diese wirtschaftlichen, gesellschaftspolitischen und ökologischen Funktionen waren in der traditionellen Wirtschaftsweise durch das langfristige und intuitive Denken der Bauern miteinander verbunden und wurden von der Gesellschaft wie selbstverständlich angenommen (Priebe, 1994). Erst die Einschränkung oder der Verlust der positiven Funktionen der Landwirtschaft hat in der Gesellschaft ein Bewußtsein für die Notwendigkeit einer umweltverträglichen Landwirtschaftsbewirtschaftung entstehen lassen. Zum Erhalt der genannten positiven Funktionen der Landwirtschaft und der Kulturlandschaft ist eine weitgehend flächendeckende Landbewirtschaftung unbedingt notwendig. Eigenständige regionalspezifische, umwelt- und naturschutzpolitische Leitbilder müssen entwickelt werden. Die Rahmenbedingungen dieser künftigen Landbewirtschaftung müssen die ökologischen, sozioökonomischen und kulturellen Aspekte der ländlichen Räume gleichermaßen mitberücksichtigen und in einer integrierten Agrarumweltpolitik umsetzen (SRU, 1994).

2. Beitrag der Landwirtschaft zur Emission klimawirksamer Spurengase

Landwirtschaftliche Aktivitäten tragen in erheblichem Umfang zur weltweiten Emission von klimawirksamen Spurengasen bei. Diese Gase entstehen bei

- der Rodung und Brandrodung der Wälder zur Bereitstellung landwirtschaftlicher Nutzflächen,
- den regelmäßigen Bewirtschaftungsbränden in den Savannen,

- der Verbrennung landwirtschaftlicher Abfälle und nachwachsender Rohstoffe,
- der Bodenbearbeitung landwirtschaftlich genutzter Flächen (Humusabbau und Bodenerosion),
- der Tierhaltung sowie der Lagerung und Ausbringung der Tierexkreme (Wirtschaftsdünger),

- im Naßreisanbau,
- durch die Verwendung stickstoffhaltiger Mineraldünger und bei
- der Herstellung, dem Transport und Einsatz der Vorleistungen der landwirtschaftlichen Produktion (Maschinen, Treibstoffe, Düngemittel etc.).

Die Emissionen klimawirksamer Spurengase aus der Landwirtschaft sowie aus der Vernichtung der tropischen Wälder sind jeweils zu etwa 15 % am globalen Treibhauseffekt beteiligt (Abschnitt A, Tab. 1.2). Bei den durch die Landwirtschaft emittierten Spurengasen muß zwischen direkt und indirekt klimawirksamen Gasen unterschieden werden. Zu den direkt klimawirksamen Gasen gehören Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Distickstoffoxid (N₂O). Diese Gase tragen als langlebige und strahlungswirksame Spurengase direkt zum Treibhauseffekt bei. N₂O und CH₄ sind zusätzlich am Ozonabbau in der Stratosphäre beteiligt. Indirekt klimawirksame Spurengase wie Stickstoffoxide (NO_x), Ammoniak (NH₃) und Kohlenmonoxid (CO) beeinflussen chemische Vorgänge in der Atmosphäre und Biosphäre, die zur Bildung direkt

klimawirksamer Spurengase (z. B. Ozon) führen oder deren Lebensdauer beeinflussen.

Die Emissionsraten der einzelnen Spurengase sind meist nur unter Schwierigkeiten zu ermitteln und werden daher mit einer teilweise erheblichen Schwankungsbreite angegeben. Dies liegt unter anderem an der geringen Zahl, Dichte und Kontinuität vorhandener Meßreihen, der unzureichenden Meßtechnik sowie dem Umstand, daß landwirtschaftliche, aber auch natürliche bzw. naturnahe Ökosysteme für die Mehrzahl der genannten Spurengase sowohl eine Quelle als auch eine Senke darstellen.

2.1 Methan (CH₄)

Der drastische Anstieg der atmosphärischen Methankonzentration in den vergangenen Jahrzehnten hat mehrere Ursachen:

- die Zunahme der weltweiten Rinderhaltung,
- die Ausdehnung und Intensivierung des Naßreisanbaus,

Tabelle 2.1

Schätzungen der Methanquellen und -senken in Mio. t CH₄/Jahr (IPCC, 1992)

	Emissionsraten in Mio. t CH ₄ /Jahr	Anteil an den Gesamtemissionen (%)
Natürliche Quellen		
Feuchtgebiete	115 (100—200)	23
Ozeane und Seen	15 (5—45)	3
Termiten	20 (10—50)	4
Summe	150 (115—295)	30
Anthropogene Quellen		
Tiere	80 (65—100)	16
Tierexkremente	25 (20—30)	5
Biomasseverbrennung	40 (20—80)	8
Reisfelder	60 (20—150)	12
Mülldeponien	30 (20—70)	6
Abwassersysteme	25	5
Erdöl-/Erdgas-Systeme	50 (30—70)	10
Kohlebergbau	40 (25—50)	8
Summe	350 (225—575)	70
Gesamt	500 (340—810)	100
Senken		
Reaktion mit OH in der Troposphäre	420 (340—500)	91
Mikrobieller Abbau in Böden	30 (15—45)	6
Reaktion mit OH in der Stratosphäre	10	2
Summe	460 (365—555)	
Zunahme in der Atmosphäre	37 (34—40)	

- der Anstieg der Biomasseverbrennung und der Brandrodung in den Tropen,
- die Zunahme der Mülldeponien und
- die Emissionen durch die Kohle-, Erdöl- und Erdgasgewinnung bzw. -verteilung.

Die gesamten natürlichen und anthropogenen Emissionen werden auf etwa 500 Mio. t CH₄ pro Jahr geschätzt (Tab. 2.1). 70 % der globalen Methanemissionen beruhen auf menschlichen Aktivitäten. Davon werden fast 60 % durch die Landwirtschaft emittiert, die somit als Hauptverursacher der anthropogenen Methanemissionen anzusehen ist. Der Abbau des atmosphärischen Methans erfolgt überwiegend durch die Reaktion mit Hydroxylradikalen (OH) in der Troposphäre und in geringerem Maße in der Stratosphäre. Auf diesem Weg werden 340 bis 500 Mio. tCH₄/Jahr oxidiert, wobei weitere direkt oder indirekt klimawirksame Spurengase wie z. B. Ozon, CO₂, CO und Formaldehyd (CH₂O) gebildet werden. In geringerem Umfang wird das atmosphärische Methan auch durch Bodenmikroorganismen abgebaut. In den vergangenen 200 Jahren stieg die atmosphärische Methankonzentration von etwa 0,8 ppmv auf derzeit 1,72 ppmv. Der jährliche Anstieg betrug 1989 etwa 0,75 % (13 ppbv) (IPCC, 1992).

In der Bundesrepublik Deutschland wurden 1990 etwa 6 Mio. t CH₄ durch menschliche Aktivitäten freigesetzt. Hiervon ist ein Drittel, etwa 2 Mio. t CH₄, auf die Landwirtschaft zurückzuführen. Aus der Tierhaltung (Tierversorgung) entweichen etwa 1,45 Mio. t CH₄/Jahr (ABL: 1,05 Mio. t / NBL: 0,38 Mio. t). Bei der Lagerung der tierischen Exkremente (Wirtschaftsdünger) wurden weitere 0,62 Mio. t CH₄ (ABL: 0,45 Mio. t / NBL: 0,17 Mio. t) emittiert (BMU, 1993 a).

2.1.1 Methankreislauf

In der Biosphäre sind Bildung und Abbau von Methan zum großen Teil an biologische Prozesse gebunden, die in einem Kreislauf, dem Methankreislauf, unter Einschluß von Sequenzen des Kohlenstoffkreislaufes miteinander verknüpft sind. Ausgangspunkt für die mikrobiologischen Prozesse des Methankreislaufes in der Natur ist fast überall die organische Substanz, die durch die grünen Pflanzen im Prozeß der Photosynthese aus Kohlendioxid und Wasser unter Nutzung der Energie des Sonnenlichtes gebildet wird (Primärproduktion). Im weiteren Ablauf des Kohlenstoffkreislaufes wird die organische Substanz durch die Organismen zur Energiegewinnung mit Sauerstoff als Elektro-

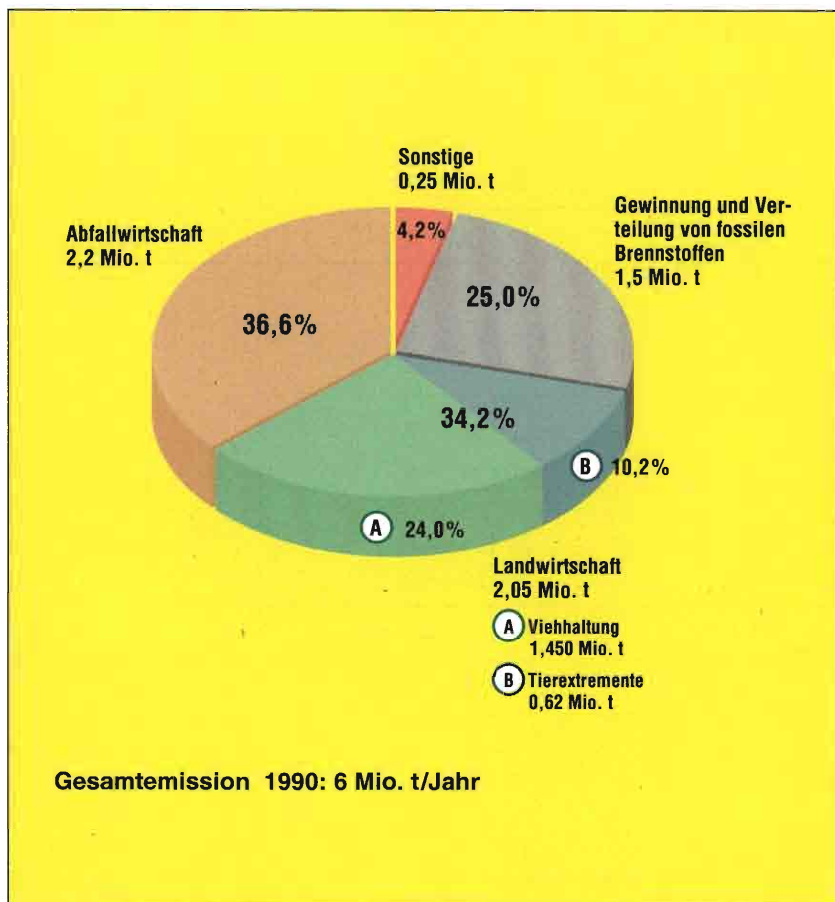


Abbildung 2.1: Anthropogene Methanemissionen in der Bundesrepublik Deutschland (1990) (BMU, 1993 a).

nenakzeptor zu Kohlendioxid und Wasser oxydiert und damit vollständig mineralisiert. Ein kleiner Anteil der organischen Substanz wird auch durch einen nicht-biologischen Prozeß, die Verbrennung, zu Kohlendioxid umgewandelt. Dabei entsteht auch in geringen Mengen Methan, das in die Atmosphäre entweicht.

Ein weiterer Teil der organischen Substanz gelangt in die Ökosysteme unter anoxischen Bedingungen (Ausschluß von Sauerstoff) und unterliegt dort einem anaeroben Abbau. Dabei werden die polymeren organischen Stoffe (Zellulose, Stärke, Eiweiße, Fette etc.) über die Stufen Hydrolyse (Spaltung), Fermentation (Vergärung) und Acetogenese mit Wasserstoffbildung (Acetatbildung) von einer komplexen anaeroben Mikrobengemeinschaft in niedermolekulare Verbindungen und zu CO_2 und H_2 umgewandelt, die dann durch die terminalen Prozesse des anaeroben Abbaus endgültig mineralisiert werden. Dabei ist die Methanbildung (Methanogenese) einer der wichtigsten terminalen Schritte der anaeroben Abbaukette.

Zu dieser Leistung sind die streng anaeroben methanogenen Mikroorganismen befähigt, die bei Ausschluß von Sauerstoff, Fehlen von Sulfat und Nitrat und niedrigem Redoxpotential (Bei negativem Redoxpotential weist der Boden gegenüber möglichen Reaktionspartnern ein entsprechendes Reduktionsvermögen auf, gibt also leicht Elektronen ab und reduziert die Reaktionspartner) im Prozeß der Energiegewinnung aus CO_2/H_2 , Acetat, Formiat, Methanol, Methylaminen und anderen Substraten Methan bilden. Diese methanogenen Organismen sind in der Natur weit verbreitet. Sie kommen vor allem dort vor, wo große Mengen organischer Substanzen unter anoxischen Bedingungen abgebaut werden (z. B. in Mooren, Sümpfen und anderen Feuchtgebieten, in Sedimenten von Gewässern, im Termitendarm im Darm von Haus- und Wildtieren (insbesondere Wiederkäuern), in Mülldeponien und in Biogasanlagen). Die wichtigsten direkten Einflußfaktoren für die Intensität der Methanogenese in diesem Ökosystemen sind die Menge und Art (Abbaubarkeit) der organischen Substanz und die Temperatur.

Das Methan gelangt aus den anoxischen Bildungsorten der Ökosysteme durch verschiedene Transportprozesse entweder direkt in die Atmosphäre oder zunächst in die oxischen (sauerstoffhaltigen) Bereiche der Ökosysteme. Überall dort, wo das sich bildende, aber auch das fossile oder abiogene Methan in die oxischen Zonen der Biosphäre eindringt, findet eine Oxydation des Methans mit Sauerstoff zu Kohlendioxid und eine Assimilation des Methankohlenstoffs in die organische Substanz durch die methanotrophen (methanabbauenden) Bakterien statt. Diese weit verbreiteten Mikroorganismen nutzen Methan als Kohlenstoff- und Energiequelle. Sie bilden vor allem in den Grenzbereichen zwischen den anoxischen und oxischen Zonen der Ökosysteme eine wirksame Barriere für den Methanfluß von den Bildungsorten in die Atmosphäre, z. B. im Oberflächenboden von Reisfeldern, in den Oberflächensedimenten von Gewässern und in der oxischen Oberflächenschicht von Mooren und anderen Feuchtgebieten. Die Aktivität der methanotrophen Bakterien wird in erster Linie durch die

Konzentration von Methan und durch die Verfügbarkeit von Sauerstoff bestimmt. Die Effektivität der Methanoxydation wird darin sichtbar, daß durch diesen Prozeß in den Reisfeldern und in den meisten Gewässern mehr als 80 % des gebildeten Methans durch Oxydation in den internen Kohlenstoffkreislauf dieser Ökosysteme zurückgeführt werden und nicht in die Atmosphäre übertreten können. Erste Abschätzungen haben ergeben, daß global 500 bis 700 Mio. t Methan/Jahr durch die methanotrophen Bakterien abgebaut werden (Reeburgh u. a., 1993; Heyer, 1990; Beide in: Heyer, 1994). In Reisfeldern wird die globale Methanoxydation auf 240 bis 480 Mio. t/Jahr geschätzt. Methan, das nicht durch die mikrobielle Methanoxydation abgebaut wurde, entweicht in die Atmosphäre. Hier findet ein photochemischer Abbau des Methans statt, der mit einer Reaktion von Methan mit Hydroxylradikalen als Schlüsselreaktion eingeleitet wird und über verschiedene Zwischenprodukte bei Kohlendioxid und Wasser endet.

Die meisten methanotrophen Bakterien sind nicht in der Lage, die geringen Methankonzentrationen in der atmosphärischen Luft für ihren Stoffwechsel zu nutzen. Dennoch gibt es in verschiedenen Böden Mikroorganismen mit einer hohen Substrataffinität, die atmosphärisches Methan aufnehmen und oxydieren können. Derzeit schätzt man diesen Weg des Methanabbaus global auf etwa 30 Mio. t/Jahr (IPCC, 1992).

2.1.2 Methanemissionen bei der Tierhaltung

Den Verdauungstrakt von Wiederkäuern und anderen pflanzenfressenden Haustieren ist eine der wichtigsten Methanquellen. Die Haustiere sind mit 16 Prozent an der gesamten globalen Methanemission bzw. mit 23 % an der anthropogenen Methanemission beteiligt. Unter den Emissionsquellen der Landwirtschaft steht die Tierhaltung mit 39 % an der Spitze. Den größten Anteil daran haben Rinder (Tab. 2.3).

Mikrobiologische Prozesse

Bei den Wiederkäuern vollzieht sich die Methanbildung in einem Vormagen, dem Pansen, in dem die aufgenommene Nahrung durch die Aktivität einer komplexen anaeroben Mikrobengesellschaft aufgeschlossen und damit für die Energiegewinnung und Ernährung der Tiere nutzbar gemacht wird. Ohne die Mitwirkung der Mikroorganismen könnte der Wirtskörper wesentliche Teile der aufgenommenen Pflanzensubstanz nicht verwerten, da ihm die entsprechenden Enzyme fehlen. Dies gilt vor allem für das quantitativ vorherrschende Substrat Zellulose. Im Verlaufe des anaeroben Abbaus entstehen aus den komplexen Nahrungssubstraten niedermolekulare organische Verbindungen, die vom Tier resorbiert (aufgenommen) werden. Dabei werden Wasserstoff und CO_2 freigesetzt, aus denen die methanogenen Bakterien im Pansen Methan produzieren.

Die hohen Methanbildungsraten im Pansen (z. B. 140 bis 600 l Methan/Tag bei Rindern) werden durch optimale ökologische Bedingungen ermöglicht:

- hohe Konzentration organischer Stoffe bei semi-kontinuierlicher Zufuhr,
- wiederholte Zerkleinerung und Durchmischung des Futters,
- hohe Zelldichten der Mikroorganismen,
- optimale Temperatur (39°C) und konstanter pH-Wert (6,5),
- anaerobe Bedingungen und niedriges Redoxpotential.

Das Methan gelangt aus dem Pansen unbeeinflusst von mikrobiellen Oxydationsvorgängen vollständig in die Atmosphäre.

Für den Wirtsorganismus führt die Methanogenese zu einem Energieverlust, der bei den Rindern durchschnittlich 5 bis 7 % der Energie des aufgenommenen Futters beträgt. Die Methanbildung sorgt jedoch als terminaler Prozeß durch den Verbrauch von Wasserstoff für die Regulation der anaeroben Abbaukette. Auch bei monogastrischen Haustieren (z. B. Schweinen) findet im Darmsystem eine mikrobielle Methanbildung statt, die aber im Unterschied zu den Wiederkäuern keine notwendige Voraussetzung für die Ernährung darstellt. Insgesamt ist die Methanbildung bei diesen Tieren deutlich geringer als bei Wiederkäuern.

Methanemission

Messungen der Methanbildung sind bei verschiedenen Tierarten durchgeführt worden, insbesondere jedoch bei Rindern. Dabei hat sich ergeben, daß für die Kalkulation der Methanemission die Beziehung zwischen Gesamtenergiegehalt des aufgenommenen Futters und dem Energieverlust durch die Methanbildung genutzt werden kann. Dieser Methanumwandlungsfaktor ist abhängig von:

- der Tierart (Rinder: 2,5 bis 10 %, Büffel: 9 %, Schafe und Ziegen: 6 %, Pferde: 2,5 %, Schweine: 0,6 %),
- innerhalb einer Art von der Tiergruppe (bei den Rindern gibt es z. B. große Unterschiede zwischen Milchkühen und Mastrindern),
- der Altersgruppe,
- der Art der Tierhaltung (Weidehaltung, Stallhaltung),
- der Futterqualität.

Regionale und klimatische Unterschiede lassen sich zum großen Teil durch die unterschiedliche Verfügbarkeit der Futtermittel und durch die Art der Tierhaltung erklären. In landwirtschaftlichen Gebieten der gemäßigten Zone von Nordamerika, Europa, Australien und Neuseeland wird bei Rindern durchschnittlich 5,5 bis 6,5 % der Energie des Futters in Methan umgewandelt (Gibbs und Leng, 1993; In: Heyer, 1994). In tropischen Gebieten mit faserreichen Futtermitteln beträgt der Energieverlust 7,5 %. Bei einer

Intensivfütterung mit hochwertigen Futtermitteln kann der Energieverlust durch Methanbildung auf 2,5 bis 4,5 % absinken. Insgesamt führen eiweiß- und fettreiche Futtermittel zu geringeren Methanbildungsraten, während kohlenhydrat- bzw. zellulosereiche Nahrung hohe Methanbildungsraten zur Folge haben. Rinder auf der Weide produzieren durch das zellulosereiche Futter mehr Methan, bezogen auf den Energiegehalt des aufgenommenen Futters (7,5 %), als Mastrinder im Stall (6,5 %); durch die insgesamt geringere aufgenommene Futterenergie der Weidetiere ist jedoch ihre jährliche Methanemission mit 54 kg/Tier gegenüber 65 kg/Tier bei den Mastrindern niedriger (Crutzen u. a., 1986). Auch innerhalb einer Tiergruppe kann es große Schwankungen geben. So bestimmten van der Honing u. a. (1993; In: Heyer, 1994) in den Niederlanden Methanemissionen bei den Milchkühen von 264 bis 550 l/Tag (bzw. 69 bis 144 kg CH₄/Kuh × Jahr), wobei es eine positive Korrelation zur Menge der aufgenommenen Nahrung und zu deren Kohlenhydratanteil gab. Eine Hochleistungsmilchkuh in den Industrieländern produziert über 150 kg CH₄/Jahr (Potthast, 1991), ein extensiv gehaltenes Rind in den Entwicklungsländern dagegen etwa 25 bis 35 kg CH₄/Jahr (Crutzen u. a., 1986; IPCC, 1992).

Tabelle 2.2

Jährliche Methanproduktionsraten von verschiedenen Rinderarten in den USA (EPA, 1992; In: Heyer, 1994)

Rindertyp	Methanproduktion (kg/Tier x Jahr)
Milchkühe	109,4—126,5
Färsen (0 bis 12 Monate)	18,9— 20,7
Färsen (12 bis 24 Monate)	57,4— 61,7
Fleischrinder	59,5— 70,9
Jungrinder (0 bis 12 Monate)	19,2— 23,6
Jungrinder (12 bis 24 Monate)	60,8— 67,7
Bullen	100

Die Methanemissionen durch die Verdauungsaktivitäten landwirtschaftlicher Nutztiere in der Bundesrepublik Deutschland wurden für 1990 auf 1,45 Mio. t CH₄/Jahr (ABL: 1,05 Mio. t / NBL: 0,38 Mio. t) geschätzt (BMU, 1993 a). In den vergangenen Jahren sind die Tierzahlen (v. a. Rinder) in Deutschland, insbesondere in den neuen Ländern leicht rückläufig (Tab. 1.12). Daher sanken die Methanemission aus der tierischen Verdauung auf schätzungsweise 1,2 Mio. t/CH₄ im Jahr 1992 (Tab. 2.3).

Die landwirtschaftlichen Nutztiere in Deutschland tragen mit ihrer Verdauung demnach etwa zu einem Viertel zu den anthropogenen Methanemissionen (6 Mio. t CH₄/Jahr) bei. Die Methanemissionen der landwirtschaftlichen Nutztiere der EU-Länder und weiterer Regionen der Erde gehen aus Tab. 2.4 hervor.

Tabelle 2.3

**Methanproduktion von landwirtschaftlichen Nutztieren in Deutschland
(Alte Bundesländer und Neue Bundesländer 1992)**

Tierart	CH ₄ ¹⁾ (l/Tag)	CH ₄ ¹⁾ (kg/Jahr)	Tierzahl ²⁾	CH ₄ (t/Jahr)	Anteil in %
Rinder < 1 Jahr	80	21	5 472 000	114 912	9,72
Rinder > 1 Jahr	250	65,5	5 370 000	351 735	29,76
Milchkühe	450	118	5 365 200	633 094	53,57
Schafe	30	8	2 386 000	19 088	1,61
Schweine	6	1,5	26 514 400	39 772	3,36
Pferde	70	18	531 000	9 558	0,80
Geflügel	0,5	0,13	104 014 000	13 522	1,14
Gesamt				1 181 681	100

¹⁾ Emissionsfaktoren nach Graßl u. a., 1991; EPA, 1992; In: Heyer, 1994; Crutzen u. a., 1986

²⁾ Statistischer Monatsbericht des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 7/93 (BML, 1993 c)

Tabelle 2.4

**Methanemissionen
von landwirtschaftlichen Nutztieren und Menschen
für 1990 (Bouwman u. a., 1991)**

Land/Region	Methan- emission in 1000 t/Jahr	Prozent- Anteil
Belgien	168	2,8
Dänemark	138	2,3
Frankreich	1 326	22,4
Deutschland	1 218	20,6
Griechenland	159	2,7
Irland	353	6,0
Italien	608	10,3
Luxemburg	6	0,1
Niederlande	389	6,6
Portugal	128	2,2
Spanien	516	8,7
Großbritannien	905	15,3
EU-Staaten gesamt	5 914	100,0
EU-Staaten gesamt	5 914	8,0
Nicht-EU OECD Europa ..	1 477	2,0
OECD Ost	3 787	5,1
Nicht-EU-, Nicht-OECD-Europa	2 310	3,1
Ehemalige UdSSR	7 577	10,2
Nordamerika	6 738	9,1
Lateinamerika	12 613	17,0
Afrika	9 565	12,9
Mittlerer Osten	1 212	1,6
Zentralverwalt. Asien	6 171	8,3
Süd- und Südostasien	16 736	22,6
Gesamtmenge global	74 100	100,0

Auf der Grundlage vorhandener Statistiken der Zahl der landwirtschaftlichen Nutztiere wurden die Me-

thanemission für die vergangenen 100 Jahre berech-
net (Crutzen u. a., 1986):

Tabelle 2.5

Globale Entwicklung der Rinder- und Schafhaltung sowie der jährlichen Methanemissionen durch landwirtschaftliche Nutztiere in den vergangenen 100 Jahren (Crutzen u. a., 1986)

	1890	1921 bis 1925	1941 bis 1945	1961 bis 1965	1983
Rinder (in Mio.)	310	640	740	1 016	1 225
CH ₄ durch Rinder (in Mio. t)	11	25	30	43	54
Schafe (in Mio.)	590	645	755	1 007	1 137
CH ₄ durch Schafe (in Mio. t)	3	3	4	6	7
CH ₄ durch weitere Nutztiere (in Mio. t)	3	6	8	11	13
Gesamt-CH ₄ (in Mio. t)	17	34	42	60	74

Danach sind die Methanemissionen durch landwirtschaftliche Nutztiere in den vergangenen 100 Jahren um das 4,4fache angestiegen. Die globale Zunahme der Zahl der landwirtschaftlichen Nutztiere, insbesondere die der Rinder, ist damit eine der wesentlichen Ursachen für den Anstieg der Methankonzentration in der Atmosphäre.

Durch das ständige Wachstum der Weltbevölkerung wird auch in Zukunft der Bedarf an Fleisch und Milch, vor allem in den Entwicklungsländern, weiter wachsen. Die dazu notwendige Vergrößerung der Tierbestände wird zu einem weiteren Anstieg der Methanemission führen. Auf der Grundlage von Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung wurden die zukünftigen Methanemissionen durch die landwirtschaftlichen Nutztiere kalkuliert (Bouwman u. a., 1991):

- 1990: 74 Mio. t CH₄/Jahr
- 2000: 79 Mio. t CH₄/Jahr
- 2025: 103 Mio. t CH₄/Jahr
- 2100: 131 Mio. t CH₄/Jahr

Vor allem in Afrika, Süd- und Südostasien sowie in Lateinamerika wird mit einer Zunahme der Rinderbestände gerechnet. In den entwickelten Ländern wird hingegen nicht von einem weiteren Anstieg des derzeit hohen Bedarfs an Fleisch und Milch ausgegangen, so daß dort eine weitere Erhöhung der Methanemission durch die landwirtschaftlichen Nutztiere kaum zu erwarten ist.

2.1.3 Methanemissionen aus tierischen Exkrementen

Die Methanemissionen aus den tierischen Exkrementen haben in den vergangenen 100 Jahren entsprechend dem Wachstum der Tierbestände ebenfalls erheblich zugenommen. Nach den Angaben von IPCC (1992) beträgt die derzeitige globale Methanemission aus diesen Quellen zwischen 20 und 30 Mio. t/Jahr. Das entspricht etwa 7 % der gesamten

anthropogenen Methanemissionen und 12 % der Methanemissionen durch landwirtschaftliche Aktivitäten:

Mikrobiologische Prozesse

Die tierischen Exkremente sind vor allem wegen ihrer großen Menge, dem hohen Gehalt an organischer Substanz (10 bis 23 %) und dem hohen Gehalt an anaeroben Mikroorganismen eine bedeutende potentielle Methanquelle. Durch die Konzentration der Tierbestände und die damit verbundenen Rationalisierungsmaßnahmen werden die Ausscheidungen der Tiere in größeren Stallanlagen mit Wasser abgeschwemmt. Das Produkt wird als Gülle bezeichnet. Die Zwischenlagerung der Gülle in Gruben und Becken führt sehr rasch zu anaeroben Bedingungen. Damit können die mikrobiologischen Prozesse des anaeroben Abbaus der organischen Substanz ablaufen, an deren Ende die Methanogenese steht. Der wichtigste Ausgangsstoff (bzw. Zwischenprodukt) für die Methanbildung ist Acetat, das in Methan und Kohlendioxid umgewandelt wird. Welcher Anteil der organischen Substanz der tierischen Exkremente in Methan umgewandelt wird, hängt von der Ausgangssubstanz, der Verweilzeit und von weiteren Bedingungen ab. Die Exkremente von Tieren, die mit einem energiereichen Futter versorgt wurden, enthalten einen größeren Anteil an leicht abbaubarer organischer Substanz, die zu einer höheren Methanbildung führt. Dagegen enthalten die Exkremente von Weidetieren, die faserreiche, energiearme Nahrung aufnehmen, einen hohen Anteil an Lignozellulosen in der organischen Substanz, die nur sehr langsam anaerob mineralisiert werden und daher weniger Methan ergeben. Aufgrund der tierartabhängigen unterschiedlichen Zusammensetzung der Exkremente ergeben sich ebenfalls Unterschiede in den potentiellen Methanbildungsraten. So ist nach bisherigen Messungen z. B. die maximale Methanproduktion von Schweinegülle größer als die von Rindergülle.

Eine lange Verweilzeit in den Güllebecken, hohe Temperaturen (Optimum für die Methanogenese 35 bis 40°C), ein pH-Wert um den Neutralpunkt, Ausschluß von Sauerstoff und das Fehlen von Sulfat und Nitrat begünstigen die Methanbildung. Da in Güllebecken sehr häufig günstige Bedingungen für die Methanogenese gegeben sind, ist hier die Methanfreisetzung besonders hoch. Gleiches gilt für die anaeroben Güllelagunen, die vor allem in Nordamerika weit verbreitet sind. In Güllebehältern und -lagunen kann bei ausreichender Lagerungsdauer nahezu die gesamte organische Substanz (außer Lignin) in CH₄ umgesetzt werden (Johnson u. a., 1991).

Die rasche Austrocknung der Exkremente und ihre Lagerung in fester Form (Festmist) begrenzt dagegen die gesamten mikrobiellen Prozesse und damit auch die Methanbildung. Bei Festmistlagerung kommt es im Mittel nur zu 1 bis 5 % der potentiellen Methanbildung (EPA, 1992; In: Heyer, 1994) (Tab. 2.7). Ähnliche Verhältnisse sind bei der CH₄-Freisetzung aus Exkrementen auf der Weide zu erwarten. Die Methanemission bzw. der Methanumwandlungsfaktor wird hier durch die Temperatur und durch die Geschwindigkeit der Austrocknung bestimmt.

Die Festmistsysteme, die erheblich weniger Methan emittieren, wurden und werden jedoch aus arbeitswirtschaftlichen Gründen zunehmend durch emissionsintensive Flüssigmistsysteme ersetzt. Bei aerober

Lagerung der Gülle, also bei Belüftung und Bewegung der Gülle durch ein Rührwerk o.ä. nimmt die Methanbildung zwar ab, dafür steigt jedoch die Ammoniakfreisetzung (Kap. 2.4.1).

Methanemission

Zur Bestimmung der aktuellen Methanemissionsraten müssen folgende Faktoren berücksichtigt werden (EPA, 1992; In: Heyer, 1994):

- die Menge der ausgeschiedenen Exkremente der verschiedenen Tiergruppen
- der Gehalt an organischer Substanz
- die maximale Methanbildung (m³ CH₄/kg organischer Substanz)
- der Methanumwandlungsfaktor für das entsprechende Entmistungssystem
- der Anteil des Entmistungssystems in einer bestimmten Region.

Die durchschnittlichen Mengen an organischer Substanz, die von verschiedenen Haustierarten ausgeschieden werden, und die maximalen Methanmengen, die daraus gebildet werden können, sind in der Tabelle 2.6 zusammengestellt.

Tabelle 2.6

Maximale Methanproduktionskapazität aus den Exkrementen der landwirtschaftlichen Nutztiere (nach EPA, 1993; In: Heyer, 1994)

Tierart	Organische Substanz der Exkremente kg/Tier · Jahr	Methanproduktionskapazität m ³ CH ₄ /kg organische Stoffe	Methanproduktion aus Exkrementen kg CH ₄ /Tier · Jahr
Rinder	986	0,17	120
Milchkühe	2 008	0,24	345
Schweine	186	0,45	59,9
Schafe	226	0,19	30,7
Pferde	1 643	0,33	388
Hühner	7,3	0,32	1,67

Tabelle 2.7

Methanumwandlungsfaktoren für verschiedene Arten der Exkrementlagerung (EPA, 1992; In: Heyer, 1994)

Lagerungsart der Exkremente	Methanumwandlungsfaktor (%)
Anaerobe Lagunen	90
Flüssigmistsysteme	5 — 65
Festmistsysteme	0,1 — 5
Weidehaltung	1 — 2
Sonstige Systeme	5 — 10

Entsprechend der Art der Exkrementlagerung ergeben sich unterschiedliche Methanumwandlungsfaktoren (Tab. 2.7).

In Tab. 2.8 sind die Anteile verschiedener Exkrementlagerungssysteme in Nordamerika und Westeuropa dargestellt.

In Deutschland fallen in der Tierhaltung jährlich etwa 200 bis 280 Mio. t Exkremente an, aus denen 6 bis 9 Mio. t CH₄ gebildet werden könnten. Für das Jahr 1990 wurden die Methanemissionen aus den Tierexkrementen in Deutschland noch auf 600 000 bis 800 000 t geschätzt (BMU, 1993 a; Söntgerath u. a., 1992; OECD, 1991; Beide in: BMU, 1993 a; Heyer, 1994). Setzt man voraus, daß in Deutschland die Anteile der verschiedenen Entmistungssysteme der

Tabelle 2.8

**Regionale Anteile der verschiedenen Systeme zur Exkrementlagerung
in Nordamerika und Westeuropa (Gibbs und Woodbury, 1993; In: Heyer, 1994)**

Tiere	Anaerobe Lagunen	Flüssigmist- systeme	Festmist- systeme	Weide- haltung	Sonstige Systeme
	in %				
Nordamerika					
Rinder	—	1	14	84	1
Milchkühe	10	23	60	—	7
Geflügel	5	4	—	1	90
Schafe	—	—	2	88	10
Schweine	25	50	18	—	6
Andere Tiere	—	—	—	92	8
Westeuropa					
Rinder	—	55	2	33	9
Milchkühe	—	46	45	8	1
Geflügel	—	13	1	2	84
Schafe	—	—	2	87	11
Schweine	—	77	23	—	—
Andere Tiere	—	—	—	96	4

Verteilung in Westeuropa entsprechen, ergibt sich unter der Annahme relativ niedriger durchschnittlicher Methanumwandlungsfaktoren eine aktuelle jährliche Methanemission in Deutschland (1992) in Höhe von etwa 485 000 t CH₄ (Tab. 2.9) (Heyer, 1994). Das entspricht einem mittleren Methanumwandlungsfaktor von nur etwa 9 %. Der aktuelle Rückgang

der Methanemissionen ist auf die sinkenden Tierzahlen (Tab. 1.11) zurückzuführen.

Unter den Systemen zur Behandlung und Aufbewahrung der tierischen Exkremente führen die Flüssigmistsysteme mit 89 % zur weitaus stärksten Methanfreisetzung. Unter den verschiedenen Tiergruppen

Tabelle 2.9

**Methanemissionen aus den Exkrementen der landwirtschaftlichen Nutztiere in Deutschland (1992)
(in 1 000 t/Jahr)**

Tiergruppe ¹⁾	Maximale Methan- produktions- kapazität	Flüssigmist- systeme	Festmist- systeme	Weide- haltung	Andere Systeme	Summen Tiergruppen	Anteil der Tiergruppen in %
Rinder	1 248	103	0,4	6,2	5,6	115,2	23,8
Milchkühe	2 022	140	13,7	2,4	1,0	157,1	32,4
Schweine	1 585	183	5,5	—	—	188,5	38,9
Schafe	71	—	0,02	0,93	0,39	1,3	0,3
Pferde	192	—	—	2,7	0,38	3,1	0,6
Hühner	190	3,7	0,03	0,06	16,0	19,8	4,1
Summen Systeme	5 308	429,7	19,6	12,3	23,4	485,0	100
Anteil Systeme in %	—	88,6	4,0	2,5	4,8	100	

¹⁾ Tierzahlen nach BML, 1993 a (Statistischer Monatsbericht 1/93)

²⁾ maximale Methanbildungsraten nach EPA, 1993; In: Heyer, 1994; Angenommene Methanumwandlungsfaktoren: Flüssigmistsysteme: 15 %; Feststofflagerung: 1,5 %; Weidebetrieb: 1,5 %; Andere Systeme/allgemein: 5 %; Andere Systeme/Geflügel: 10 %

haben die Schweine aufgrund des besonders hohen Flüssigmistanteils mit 39 % den Hauptanteil, gefolgt von den Milchkühen (32 %) und den Rindern (24 %).

Für die Methanemissionen aus tierischen Exkrementen in den verschiedenen Regionen der Welt liegen bisher nur ungenaue statistische Abschätzungen vor. Nach dieser Kalkulation ist die globale Methanemission aus tierischen Exkrementen (17 Mio. t CH₄/Jahr) deutlich geringer als von IPCC (1992) angegeben (25 Mio. t CH₄/Jahr). Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, daß die Anteile und die regionale Verteilung der Exkrementlagerungssysteme nicht berücksichtigt wurden. Gerade die weltweit wachsende Konzentration und Intensität in der Massentierhaltung führt aber zu einer Zunahme der Flüssigmist-systeme und somit zu erheblich höheren Methanemissionen (Tab. 2.10).

Tabelle 2.10

**Methanemission aus tierischen Exkrementen
in verschiedenen Regionen (1990)
(nach Bouwman u. a., 1991)**

Region	Methanemission in Mio. t/Jahr
EU-Länder	1,588
Nicht-EU OECD Europa	0,352
OECD Ost	0,748
Nicht-EU Nicht-OECD Europa ..	0,407
Ehemalige UdSSR	1,313
Nordamerika	1,812
Lateinamerika	4,817
Afrika	1,851
Mittlerer Osten	0,208
Zentralverwaltung Asien	1,380
Süd- und Südostasien	2,643
Summe	17,119

Entsprechend der zu erwartenden Zunahme der Tierbestände zur Versorgung der wachsenden Weltbevölkerung wird auch eine Zunahme der Methanemissionen aus den tierischen Exkrementen prognostiziert (Bouwman u. a., 1991):

1990: 17,119 Mio. t CH₄/Jahr
 2000: 18,443 Mio. t CH₄/Jahr
 2025: 26,108 Mio. t CH₄/Jahr
 2100: 34,903 Mio. t CH₄/Jahr

2.1.4 Naßreisanbau

Reis bildet die wichtigste Nahrungsgrundlage für mehr als die Hälfte der Menschheit, insbesondere in Asien, wo etwa 90 % der Welternte produziert wer-

den. In den vergangenen 40 Jahren nahm die weltweite Reisanbaufläche um 17 % zu. Die Intensivierung des Reisanbaus durch verbesserte Sorten, Verbesserung der Düngung und Bewässerung und dadurch ermöglichte Mehrfachernten führte seit 1950 zu einer Verdreifachung der Erträge. Durch die Mehrfachernten (mehrere Ernten auf der gleichen Fläche innerhalb eines Jahres) wuchs die Reisernte fläche im gleichen Zeitraum um 41 %. Diese Entwicklung hat wesentlich zur Zunahme der Methankonzentration in der Atmosphäre beigetragen (Heyer, 1994). Nach den Angaben von IPCC (1992) sind die Reisfelder mit 17 % an der globalen anthropogenen Methanemission beteiligt.

Mikrobiologische Prozesse

Methanbildung

Die Methanbildung in den Reisfeldern erfolgt durch anaerobe mikrobiologische Prozesse beim Abbau organischer Substanzen im Boden. Die wichtigste Voraussetzung dafür sind anoxische Bedingungen (Ausschluß von Sauerstoff), die im Boden als Folge der Überflutung entstehen. Dabei wird durch die aeroben mikrobiellen Mineralisationsprozesse mehr Sauerstoff verbraucht als durch Diffusion über die Flutwasserschicht aus der Atmosphäre nachgeliefert werden kann. Die Ausdehnung der anoxischen Bodenschicht wird durch eine Vielzahl von ökologischen Faktoren reguliert: Flutwasserhöhe, Wassertemperatur, Wasserdurchdringung und Wasserströmung, Algenentwicklung, Menge der organischen Substanz, Menge der reduzierten Endprodukte der anaeroben Mineralisation, Bioturbation (Bodenbewegungen durch Tiere, Wurzelwachstum etc.), Sauerstofftransport durch Reispflanzen.

Wichtigster Faktor für die Methanbildung ist die kohlenstoffhaltige organische Substanz im Boden, für die es verschiedene Quellen gibt:

- vorhandene organische Substanz im Boden;
- absterbende Algen und Wasserpflanzen aus dem Flutwasser;
- absterbende Wurzeln der Reispflanzen;
- Wurzelexsudate (Absonderungen) der Reispflanzen;
- organische Düngung (Reisstroh, Reisstopplern, Gründüngung, kompostierte Pflanzenreste, Abfälle aus Biogasanlagen etc.);
- Begleitvegetation.

Die Intensität der Methanbildung hängt dabei von der Menge und der Art der organischen Substanzen ab. Da die methanogenen Substrate über die anaerobe Abbaukette gebildet werden, führen vor allem die organischen Stoffe zu hohen Methanbildungs-raten, die unter anaeroben Bedingungen leicht abgebaut werden können, wie z. B. die Wurzelexsudate der Reispflanzen und Gründünger. Reste aus Biogasanlagen und kompostiertes Pflanzenmaterial werden durch ihren hohen Anteil an schwer abbaubaren

Verbindungen (Lignin, Huminstoffe) nur sehr langsam und unvollständig mineralisiert und ergeben daher geringere Methanbildungsraten.

Ein weiterer Einflußfaktor auf die Methanbildung ist die Temperatur. Die Optimaltemperatur für die Methanbildung in Reisfeldböden liegt zwischen 30 und 40°C (Koyama, 1963; Sass u. a., 1991; Beide in: Heyer, 1994). In den Reisanbaugebieten der tropischen Regionen mit gleichmäßig hohen Temperaturen sind Änderungen der Methanbildungsraten durch Temperaturänderungen von geringerer Bedeutung. Dagegen führen die Temperaturänderungen in den nördlicheren Reisanbaugebieten zu tageszeitlichen und saisonalen Änderungen der Methanbildungsraten (Schütz u. a., 1989; Sass u. a., 1990 u. 1992; Beide in: Heyer, 1994).

Zu den weiteren notwendigen Voraussetzungen für die Methanbildung gehört ein negatives Redoxpotential im Boden, das nach dem Verbrauch des Sauerstoffs durch die Freisetzung reduzierter Substanzen entsteht. Ein weiterer Einflußfaktor für die Methanbildung ist der pH-Wert, wobei das Optimum für die Methanbildung im schwach sauren bis schwach alkalischen Bereich bei pH-Werten zwischen 6,4 und 7,8 liegt (Minami, 1993; In: Heyer, 1994).

Methanabbau

Gelangt das in den anaeroben Bodenschichten gebildete Methan in aerobe Bodenschichten, findet eine mikrobielle Oxidation des Methans mit Sauerstoff zu Kohlendioxid und Wasser statt. Die Methanoxidation stellt damit eine wesentliche Barriere für den Methanfluß aus den Reisfeldern in die Atmosphäre dar. Der Vergleich zwischen der Methanbildung und der Methanemission belegt, daß nur etwa 20 % des gebildeten Methans in die Atmosphäre entweichen (Holzapfel-Pschorn u. a., 1985 u. 1986; In: Heyer, 1994).

Voraussetzung für die aerobe Methanoxydation ist die Verfügbarkeit von Sauerstoff. Daher ist dieser Prozeß auf die oxischen Bereiche im Reisfeld beschränkt, d. h. auf die oberste Bodenschicht, auf die durch die Wurzeln mit Sauerstoff versorgten Bereiche der Rhizosphäre (Wurzelraum) und auf das Flutwasser. Alle ökologischen Bedingungen, die das Eindringen von Sauerstoff begünstigen, wie Drainage, hohe Flutwasserströmung, geringer Flutwasserstand, hohe Wasserdurchdringung und Sauerstoffbildung bei der Photosynthese der Algen haben eine Ausdehnung der oxischen Bereiche und damit eine Erhöhung der Methanoxydation zu Folge. Die Intensität des Methanabbaus hängt in erster Linie von der Methankonzentration und außerdem von Temperatur und pH-Wert ab.

Methantransport

Das in den anoxischen Bodenschichten gebildete Methan gelangt durch verschiedene Transportprozesse in die oxischen Bodenschichten, in das Flutwasser und in die Atmosphäre. Die Art des Transportpro-

zesses hat einen wesentlichen Einfluß auf das weitere Schicksal des Methans. Folgende Prozesse werden unterschieden:

- Diffusion in der wäßrigen Phase und in der Gasphase,
- Blasen-transport,
- Transport durch die Reispflanzen,
- Verfrachtung mit dem Flutwasser,
- Verfrachtung in das Grundwasser.

Für die Methanemission in die Atmosphäre gelten die Reispflanzen als die wichtigsten Transportwege. Mehr als 90 % des beim Naßreisanbau in die Atmosphäre abgegebenen Methans werden durch das Aerenchym (Durchlüftungsgewebe) der Reispflanzen transportiert (Seiler u. a., 1984; Holzapfel-Pschorn u. a., 1986; Beide in: Heyer, 1994). In geringerem Maße trägt der Transport des Methans in den aufsteigenden Gasblasen zur Emission bei, während das durch Diffusion im Bodenwasser wandernde Methan zum großen Teil in den oxischen Bereichen durch die mikrobielle Oxydation am Übertritt in die Atmosphäre gehindert wird. Das nach der Drainage der Reisfelder durch Diffusion in der Gasphase der Bodenhohlräume verfrachtete Methan kann sowohl oxydiert werden als auch in die Atmosphäre entweichen.

Methanemission

Die Methanemission ist die Differenz von Methanbildung und Methanoxydation. Die beiden Schlüsselprozesse des Methankreislaufes entscheiden darüber, wieviel Methan aus den Reisfeldern in die Atmosphäre gelangt. Die ökologischen Bedingungen, die Reispflanzen und die landwirtschaftlichen Maßnahmen wirken sich in der Regel nicht direkt auf die Methanemission aus, sondern indirekt über ihren Einfluß auf die mikrobiologischen Prozesse im Reisfeldboden. Messungen der Methanemission aus Reisfeldern in den USA, Spanien, Italien, den Philippinen, Japan, China, Thailand und Indien ergaben erhebliche Unterschiede (0,2 bis 80 mg CH₄/m² × h bzw. 0,6 bis 167 g CH₄/m² × Saison), die zurückgeführt werden auf Unterschiede

- in der Düngieranwendung (Art, Menge, Ausbringung),
- in der Zugabe von Hemmstoffen,
- im Flutungsmanagement (Wassermenge, Drainagen während der Saison, Fließgeschwindigkeit, Zeitdauer der Flutung, Flutungsbeginn, Wasserdurchdringung),
- im Klima (Temperatur, Niederschlag),
- in der Reissorte,
- im ökologischen Typ des Reises (bewässerter Reis, regengespeister Reis, Reis von nicht gefluteten Böden),
- in der Bodenart (Gehalt an organischer Substanz, Wasserdurchlässigkeit u. a.),
- in der Bodenbearbeitung.

Düngung

Da die organische Substanz die Grundlage für die Methanbildung ist, führt ein Eintrag von organischen Düngemitteln in die Böden zu einer erhöhten Methanemission. Die Abbaubarkeit der organischen Substanz unter anaeroben Bedingungen spielt dabei eine entscheidende Rolle. Die Methanemission wird am stärksten durch Gründüngung mit einem hohen Anteil leicht mineralisierbarer organischer Substanz gefördert. Auch die Einarbeitung von Reisstroh führt stets zu erhöhten Emissionsraten gegenüber ungedüngten Kontrollen. Dagegen ist der Effekt von kompostierter organischer Substanz oder von Abfällen aus Biogasanlagen auf die Methanemission deutlich geringer, da hier der Anteil an leicht mineralisierbarer organischer Substanz durch den Kompostierungs- bzw. Vergärungsprozeß stark reduziert ist (Schütz u. a., 1989; Yagi u. Minami, 1990; Cicerone u. a., 1992; Wassmann u. a., 1993; Alle in: Heyer, 1994).

Die mineralischen Düngemittel und Harnstoff üben keinen direkten Einfluß auf die Methanbildung aus. Hier ist in der Regel auch keine Zunahme der Methanemissionsraten nach Düngung gegenüber ungedüngten Kontrollen nachgewiesen worden.

Zugabe von Hemmstoffen

Die Zugabe von Calciumcarbid (CaC_2) zielt auf eine Hemmung der Methanogenese. Bei der Reaktion von Calciumcarbid (CaC_2) mit Wasser entsteht Acetylen (C_2H_2), das bereits in geringen Konzentrationen die Methanbildung blockiert (Oremland u. Capone, 1988; In: Heyer, 1994).

Flutungsmanagement

Die Flutung des Reisfeldbodens ist die Voraussetzung für die Entstehung anoxischer Bedingungen und damit für die Methanbildung. Nur während der Zeit der Wassersättigung des Bodens kann eine Methanbildung erfolgen. Eine Unterbrechung der Flutung führt vor allem dann zu einem sofortigen Stillstand der Methanogenese und damit der Methanemission, wenn Sauerstoff durch Diffusion in der Gasphase in den Boden eindringen kann. Nach erneuter Flutung vergeht dann mindestens eine Woche, bevor die Methanbildung wieder einsetzt (Sass u. a., 1992; In: Heyer, 1994).

Die Fließbewegungen des Flutwassers versorgen die methanoxidierenden Bakterien an der Bodenoberfläche mit Sauerstoff. Bei Stagnation des Flutwassers kann es innerhalb eines Tages zu anoxischen Bedingungen auf der Bodenoberfläche kommen, wodurch die Methanoxidation eingeschränkt wird. In Reisfeldböden mit einer hohen Wasserdurchdringung kann dagegen durch das Eindringen von sauerstoffhaltigem Flutwasser in die anoxischen Bodenschichten die Methanogenese ausgeschaltet bzw. auf tiefere Bodenschichten zurückgedrängt werden. Dies hat eine Verminderung der Methanemission zur Folge (Minami, 1993; In: Heyer, 1994).

Temperatur

Die Korrelation von Methanemission und Temperatur konnte in verschiedenen Untersuchungen anhand der tageszeitlichen Schwankungen aufgezeigt werden. Eine Temperaturerhöhung von 20 auf 25°C führt zu einer Verdopplung der Methanemission aus Reisfeldern (Schütz u. a., 1989; In: Heyer, 1994).

Ökologischer Typ der Reispflanzen

Das unterschiedliche Bewässerungsmanagement der verschiedenen Reistypen (bewässert, regenversorgt, ohne längere Überflutung) bestimmt die Höhe der Methanbildung und -emission. An der Methanemission in die Atmosphäre sind vor allem bewässerte Reisfelder beteiligt, die die Hälfte der gesamten Anbaufläche einnehmen, und in geringerem Maße die regenversorgten Reisfelder mit 38 % Flächenausdehnung, nicht jedoch die Reisfelder ohne längere Überflutung.

Reispflanzen

Die Reispflanzen beeinflussen in vielfältiger Weise die mikrobiologischen Prozesse im Boden, die ökologischen Bedingungen und die Transportprozesse durch:

- den Eintrag von organischer Substanz (Wurzelmasse, Wurzelausscheidungen, Stoppel und Stroh),
- den Transport von Methan in die Atmosphäre bzw. von Sauerstoff in die Rhizosphäre,
- die Beschattung der Bodenoberfläche und des Flutwassers (Algenbildung, Boden- bzw. Wassertemperatur).

Die Methanemissionen verschiedener Reissorten liegen in einem Bereich von 1,3 bis 49,0 mg $\text{CH}_4/\text{m}^2 \times \text{h}$ (Parashar, 1993; In: Heyer, 1994).

Bodenart

Neben dem Bodentyp spielen der Gehalt an organischer Substanz, der Nährstoffgehalt (C/N-Verhältnis), pH-Wert, Textur, Wasserkapazität und andere Bodenfaktoren eine Rolle. Es liegen jedoch noch keine ausreichenden Erkenntnisse über die Wechselwirkungen der verschiedenen Faktoren auf Methanbildung und Methanoxidation und damit auf die Methanemission vor.

Bodenbearbeitung

Über den Einfluß der Bodenbearbeitung auf die Methanemission sind bisher keine systematischen Untersuchungen durchgeführt worden. Die Bodenbewegungen während des Reiswachstums durch Tiere (Bioturbation) oder landwirtschaftliche Maschinen bei der Ausbringung von Dünger, Herbiziden und ande-

ren Substanzen sowie bei der Ernte führen zu einer massiven Methanfreisetzung aus den im Boden befindlichen Gastaschen (Gasblasen). Diese Methanemission ist bei den bisherigen Messungen nicht erfaßt worden und macht daher eine Korrektur der globalen Kalkulationen der Methanemission von Reisfeldern notwendig (Neue, 1992; In: Heyer, 1994).

Kalkulation der globalen Methanemission aus Reisfeldern

Die gegenwärtige Erntefläche beträgt 145,9 Mio. Hektar (ha) (1990), auf der 518,9 Mio. t Reis im Jahr produziert werden (Neue, 1991). 1951 wurden auf einer Fläche von 103,7 Mio. ha 170,5 Mio. t Reis erzeugt. Sowohl die erhebliche Zunahme der Reisanbaufläche als auch der Anbauintensität führten zu einer entsprechenden Zunahme der Methanemission in die Atmosphäre. Die derzeitigen Methanemissionen aus Reisfeldern wurden für verschiedene Regionen berechnet. Danach werden entsprechend der Verteilung der Reisanbaugebiete auf der Erde mehr als 90 % des Methans in Asien emittiert (Bouwman u. a., 1991).

Tabelle 2.11

Methanemissionen aus Reisfeldern in verschiedenen Ländern und Regionen der Erde (Bouwman u. a., 1991)

Länder/Regionen	Methanemission Mio. t/Jahr	Anteil in Prozent
Frankreich	0,01	
Griechenland	0,01	
Italien	0,08	
Portugal	0,01	
Spanien	0,02	
EU gesamt	0,13	0,14
Nicht-EU OECD Europa	0,03	0,03
OECD Ost	0,86	0,9
Nicht-EU nicht-OECD Europa	0,03	0,03
Ehemalige UdSSR	0,26	0,3
Nordamerika	0,44	0,5
Süd- und Zentralamerika ...	3,84	4,2
Afrika	2,11	2,3
Mittelost	0,36	0,4
Zentralverwaltung Asien ...	20,11	21,8
Süd- und Südostasien	64,03	69,4
Welt	92,2	100

Nach Schätzungen wird die Reisproduktion bis zum Jahr 2020 auf 758 Mio. t/Jahr ansteigen (Neue, 1991). Das entspricht einer Steigerung um 46 % (1,5 %/Jahr). Da eine Ausdehnung der Reisanbaufläche nicht im bisherigen Umfang möglich sein wird, muß dieses Ziel vor allem durch höhere Erträge und Mehrfachernten erreicht werden. Auf der Basis der bisherigen Entwicklung wurde eine Kalkulation für die Zunahme der Methanemission aus Reisfeldern in den nächsten 100 Jahren durchgeführt. Danach ist mit einer Verdoppelung der globalen Methanemission aus Reisfeldern gegenüber dem heutigen Stand zu rechnen.

Tabelle 2.12

Entwicklung von Reisanbaufläche und Methanemission aus Reisfeldern (bewässerter und regenversorgter Reis) in den nächsten 100 Jahren (Bouwman u. a., 1991)

Jahr	Reisanbaufläche in Mio. ha	Methanemission in Mio. t/Jahr
1990	131	92
2025	183	131
2050	211	152
2075	236	170
2100	255	184

2.1.5 Biomasseverbrennung

Die Biomasseverbrennung ist zu einem erheblichen Teil der Vernichtung der tropischen Wälder anzulasten. Die Bereitstellung landwirtschaftlicher Anbauflächen ist mit etwa 90 % die Hauptursache für die Brandrodung und Rodung geschlossener tropischer Regenwälder. Die Flächen werden je zur Hälfte im Wanderfeldbau genutzt bzw. in mehr oder weniger dauerhafte landwirtschaftliche Nutzung (Weide- und Plantagenflächen) überführt (Amelung u. Diehl, 1991). Die Brände in den tropischen und subtropischen Savannengebieten sind ebenfalls überwiegend anthropogen bedingt und dienen der Erneuerung des Aufwuchses für die Weidewirtschaft. Weitere Emissionsquellen sind das Abbrennen von landwirtschaftlichen Ernteabfällen und die Verbrennung von Biomasse zur Energiegewinnung (Holz, Holzkohle, Erntestereste, Tierdung). Bei der Verbrennung von Biomasse werden 0,6 bis 1,6 % des Kohlenstoffs in Methan umgewandelt (EPA, 1992; In: Heyer, 1994). Die Menge des freigesetzten Methans ist vom Ausgangsmaterial und von der Art der Verbrennung abhängig. Bei Schwelbränden wird wesentlich mehr Methan gebildet als bei Bränden mit hoher Luftzufuhr und hoher Temperatur.

In Deutschland betrug die Methanemission aus der Verbrennung von Holz in den alten Bundesländern 11 000 t CH₄/Jahr (1987). Das sind nur 0,2 % der anthropogenen Methanemissionen in Deutschland. Die globale Methanemission aus der Biomasseverbrennung wird mit 62,2 Mio. t CH₄/Jahr angegeben. Daran sind beteiligt (Selzer, 1992; In: Heyer, 1994):

Tabelle 2.13

**Globale Methanemissionen
aus der Biomasseverbrennung
(Selzer, 1992; In: Heyer, 1994)**

	Mio. t CH ₄ /Jahr	%
Brandrodung	22,2	36
Busch- und Waldbrände	12,4	20
Verbrennung landwirtschaftlicher Abfälle	16,6	27
Holzverbrennung zur energetischen Nutzung	11,0	17
Summe	62,2	100

Dem von IPCC (1992) angegebenen Durchschnittswert von 40 Mio. t Methan/Jahr (20-80) kommen die Kalkulationen von Bouwman u. a. (1991) mit 44 Mio. t (Tab. 2.14) und Andreae (1991) mit 38,7 Mio. t näher.

Die Biomasseverbrennung beschränkt sich im wesentlichen auf Lateinamerika, Afrika und in geringerem Umfang auf Asien. Aufgrund des Wachstums der Bevölkerung in den Entwicklungsländern und der daraus resultierenden Ausweitung der landwirtschaftlichen Nutzflächen wird folgende Zunahme der Emissionen durch die Biomasseverbrennung prognostiziert.

Tabelle 2.14

**Entwicklung der Methanemissionen (in Mio. t CH₄)
durch die Biomasseverbrennung
(Brandrodung, Savannenbrände, landw. Abfälle)
in verschiedenen Regionen der Welt
(Bouwman u. a., 1991)**

Region	CH ₄			
	1990	2025	2050	2100
Lateinamerika	15	19	20	21
Afrika	25	37	42	47
Mittlerer Osten	0	0	0	0
Zentralverwaltung Asien	1	1	1	1
Süd-, Südost-Asien	2	3	3	3
Welt	44	60	67	72

2.1.6 Indirekte Einflüsse der Landwirtschaft auf die Methanemission aus anderen Ökosystemen

Die Auswaschung und Abschwemmung von Mineraldünger und Gülle von landwirtschaftlich genutzten Flächen und der Eintrag von Stickstoffverbindungen

aus der Luft führt zu einem Nährstoffeintrag in andere Ökosysteme. Diese Erhöhung der Mineralstoffkonzentration (Eutrophierung) verursacht insbesondere in nährstofflimitierten Gewässern und Feuchtgebieten eine Zunahme der Primärproduktion (Algen, Wasserpflanzen). Nach dem Absterben der vermehrt gebildeten Biomasse steigt die Methanbildung im Sediment und somit die Methanfreisetzung in die Atmosphäre.

Methanoxidation

Bestimmte terrestrische Ökosysteme, wie Wälder der borealen, gemäßigten und tropischen Zonen, Savannen und Grasländer, wirken als Senke für das atmosphärische Methan. Schätzungsweise 30 bis 40 Mio. t CH₄/Jahr werden von diesen Ökosystemen weltweit aufgenommen (Seiler und Conrad, 1987; Reeburgh u. a., 1993; Beide in: Heyer, 1994; IPCC, 1992). Die Umwandlung dieser Ökosysteme in Ackerland führt zu einer Verminderung der Methanaufnahme auf ein Viertel (Ojima u. a., 1993; In: Heyer, 1994). Durch das Ausmaß der Umwandlung von tropischen Wäldern in Ackerfläche wird daher die globale Methanaufnahme aus der Atmosphäre um etwa 4 Mio. t CH₄/Jahr reduziert (Keller u. a., 1990; In: Heyer, 1994).

Auch der Nährstoff- und insbesondere der Stickstoffeintrag in die Böden natürlicher und naturnaher Ökosysteme (z. B. auch Wiesen und Weiden) reduziert die Methanaufnahme der Böden (Steudler, u. a. 1989; In: Heyer, 1994). Die Fähigkeit der Waldböden zur Methanoxidation wird ganz erheblich durch die Stickstoffeinträge, vor allem durch das Ammoniak (NH₃) aus der Landwirtschaft, verringert (Hartung, 1992; Castro et al., 1992). Allein in den gemäßigten Breiten wird die Methanaufnahme landwirtschaftlich genutzter Böden durch die Stickstoffdüngung und Landnutzungsänderungen um 1,5 bis 6 Mio. t/Jahr reduziert (Ojima u. a., 1993; In: Heyer, 1994).

2.2 Distickstoffoxid (N₂O)

Die atmosphärische Konzentration von N₂O ist von 288 ppbv in vorindustrieller Zeit auf gegenwärtig 311 ppbv (1991) angestiegen. In den vergangenen 20 Jahren lag der mittlere Anstieg bei 0,8 ppbv bzw. 0,25 % pro Jahr (EK, 1992). Dies entspricht einer jährlichen Zunahme in der Atmosphäre um 3 bis 4,5 Mio. t N₂O-N/Jahr (IPCC, 1992). Analysen aus Eisbohrkernen zeigen, daß der Anstieg seit Beginn der Industrialisierung mit der zunehmenden Ausweitung der landwirtschaftlichen Nutzflächen korreliert und seit Mitte des 20. Jahrhunderts eine drastische Beschleunigung erfuhr. Diese Zunahme wird insbesondere auf den stark gestiegenen und teilweise übermäßigen Einsatz von stickstoffhaltigen Düngemitteln in der Landwirtschaft zurückgeführt. Durch die damit verbundene Eutrophierung natürlicher Ökosysteme werden auch dort die N₂O-Emissionen deutlich erhöht.

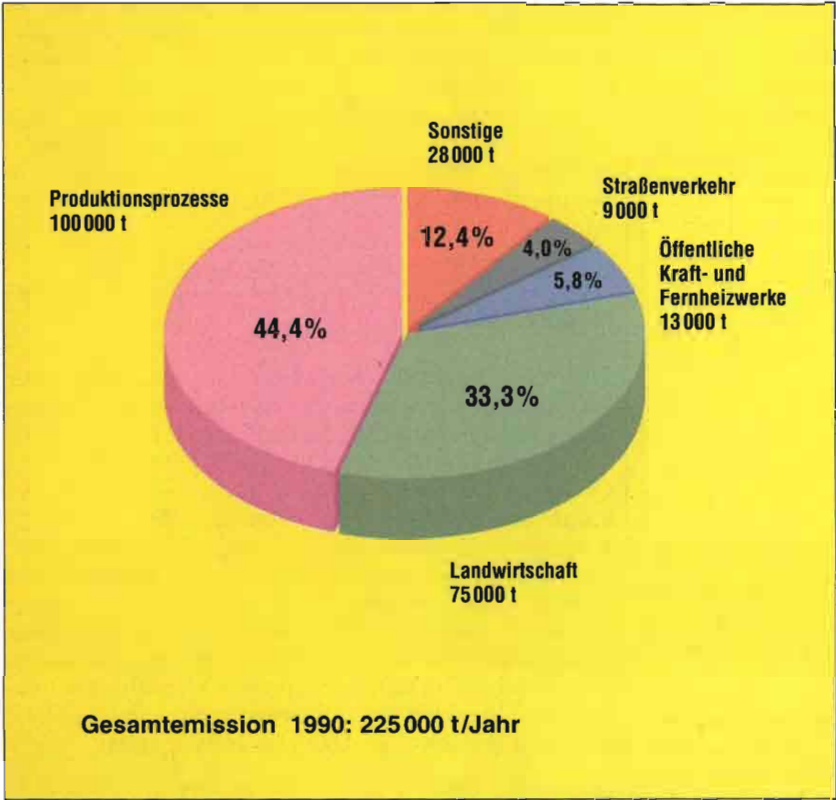


Abbildung 2.2: Anthropogene N₂O-Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland (1990) (BMU, 1993 a):

Tabelle 2.15

Globale Quellen und Senken
des Distickstoffoxids (IPCC, 1992)

	Mio. t N ₂ O-N/Jahr
Natürliche Quellen	
Meere	1,4 — 2,6
Tropische Böden	
— Feuchtwälder	2,2 — 3,7
— Trockensavannen	0,5 — 2,0
Böden gemäßigter Breiten	
— Wälder	0,05 — 2,0
— Grasländer	?
Anthropogene Quellen	
Kultivierte Böden	0,03 — 3,0
Biomasseverbrennung	0,2 — 1,0
Stationäre Energieerzeugung	0,1 — 0,3
Verkehr	0,2 — 0,6
Chemische Industrie	
— Nylonherstellung	0,4 — 0,6
— Düngemittelherstellung	0,1 — 0,2
Senken	
Photochemische Spaltung in der Stratosphäre	7 — 13
Aufnahme durch Böden	?
Zunahme in der Atmosphäre	3 — 4,5

In Deutschland wird N₂O insbesondere bei industriellen Produktionsprozessen und durch die Stickstoffdüngung in der Landwirtschaft freigesetzt. Die gesamten anthropogenen Emissionen wurden für das Jahr 1990 auf etwa 225 000 t N₂O geschätzt. Die Landwirtschaft ist hieran zu einem Drittel (75 000 t N₂O/Jahr) beteiligt (Abb. 2.2) (BMU, 1993 a).

N₂O entsteht neben den Stickstoffoxiden (NO u. NO₂ = NO_x) und molekularem Luftstickstoff (N₂) bei der mikrobiellen Umsetzung (Nitrifikation, Denitrifikation) von anorganischen Stickstoffverbindungen (NH₄⁺; NO₃⁻) in Böden und Gewässern. Daneben führt auch die Verbrennung von Biomasse und fossilen Energieträgern zur Freisetzung von N₂O, NO_x und N₂. Der N₂O-Eintrag aus der Verbrennung fossiler Energieträger wurde bisher jedoch überschätzt und der Beitrag der Landwirtschaft eher unterschätzt. Da N₂O fast immer gemeinsam mit den Stickstoffoxiden gebildet und emittiert wird, werden diese gasförmigen N-Verbindungen im folgenden auch gemeinsam behandelt, obwohl NO und NO₂ nur indirekt klimawirksam sind (Kap. 2.4.2).

2.2.1 Stickstoffkreislauf

Abb. 2.3 gibt einen Überblick über die natürlichen und anthropogenen Stickstoffeinträge in die landwirtschaftlich genutzten Böden, die dort ablaufenden Umsetzungsprozesse und die Stickstoffausträge aus den Agrarökosystemen.

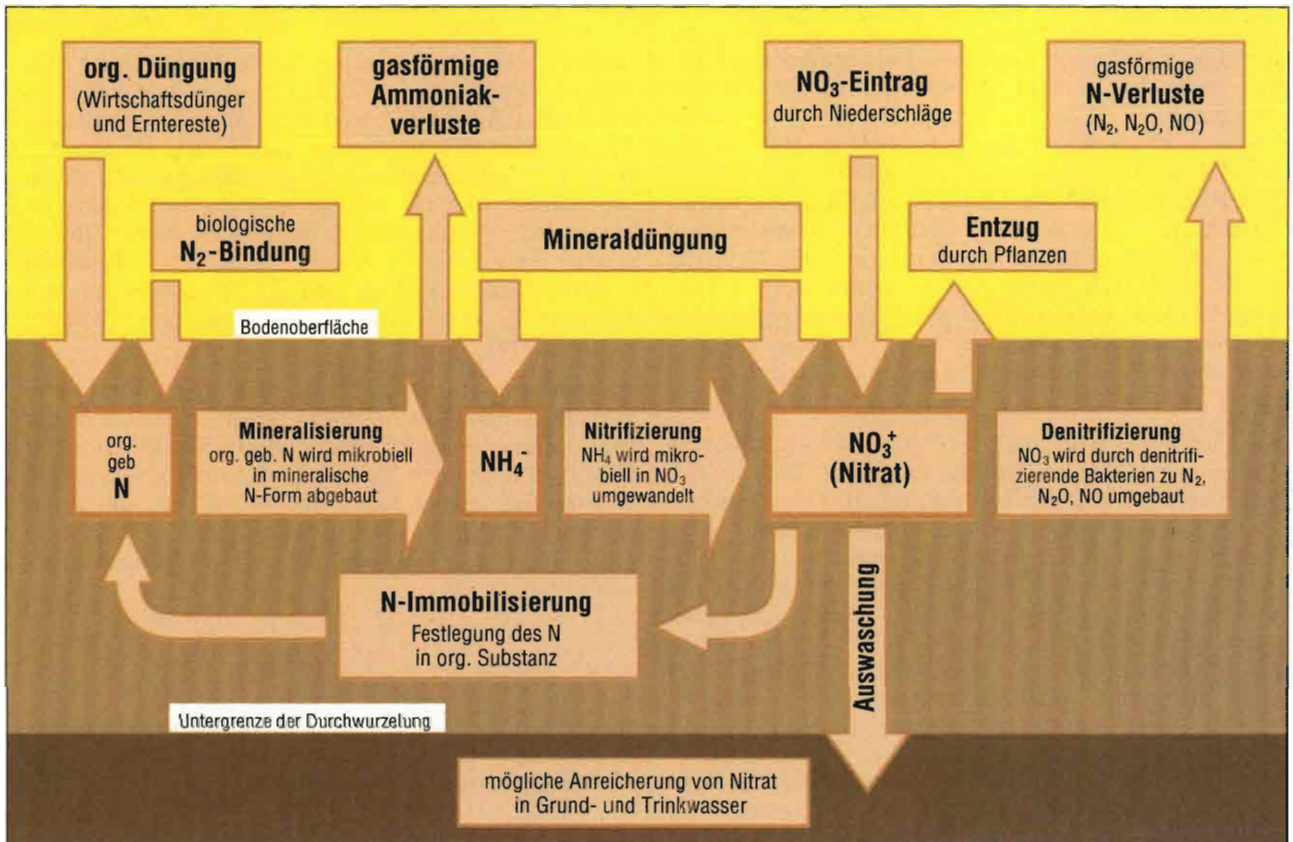


Abbildung 2.3: Stickstoffbilanz im Bodenbereich (AID, 1992):

Die Stickstoffeinträge in die landwirtschaftlichen Ökosysteme erfolgen in Form von

- mineralischer N-Düngung,
- organischer Düngung durch Tierexkrement, Erntereste, Siedlungsabfälle etc.,
- biologischer N_2 -Bindung durch freilebende und in Symbiose mit Pflanzenwurzeln lebende Mikroorganismen,
- trockener und nasser Deposition von N-Verbindungen aus der Atmosphäre.

In Böden (und Gewässern) freilebende Mikroorganismen und solche, die in Symbiose mit höheren Pflanzen (vorwiegend Leguminosen) leben, sind in der Lage, molekularen Luftstickstoff zu binden (biologische N_2 -Fixierung) und in ihre organische Substanz einzubauen oder an die Pflanzenwurzeln weiterzugeben, mit denen sie in Symbiose leben. Nach Mineralisierung der organischen Substanz liegt der darin enthaltene Stickstoff im Boden in pflanzenverfügbarer Form vor. Der weltweite Stickstoffeintrag in die Landwirtschaft durch den Anbau von Futter- und Nahrungsleguminosen wird auf 80 bis 90 Mio. t N/Jahr geschätzt (Hauck, 1988, In: Beese, 1994; IPCC, 1992).

Der weltweite Eintrag von Stickstoff durch Mineraldüngung hat mittlerweile die gleiche Größenordnung erreicht und betrug 1990 79,6 Mio. t N/Jahr. Dies

entspricht im weltweiten Durchschnitt etwa 54 kg N/ha landwirtschaftlicher Nutzfläche (Bouwman u. a., 1991).

Der Eintrag durch die nasse Deposition N-haltiger Spurengase (Stickstoffoxide, Ammoniak) mit den Niederschlägen und durch trockene Deposition der Gase, Aerosole und Stäube ist erheblich schwieriger abzuschätzen, da die Angaben mit großen Unsicherheiten behaftet sind. Beteiligt an der Emission N-haltiger Spurengase sind insbesondere die Verbrennung fossiler Energieträger, die Verbrennung von Biomasse in Landwirtschaft, Brandrodung etc., die bei elektrischen Entladungen (Blitze) aus Luftstickstoff gebildeten Stickstoffoxide sowie die mikrobiellen Prozesse in Böden und Gewässern. Die gasförmigen N-Emissionen aus landwirtschaftlichen Nutzflächen gelangen teilweise durch Deposition wieder in diese zurück. Die Stickstoffeinträge durch trockene und nasse Deposition liegen zwischen 10 und 80 kg N/ha x Jahr (Beese, 1994), können regional aber bis zu 200 kg N/ha x Jahr und mehr betragen (Kreutzer, 1993). Dieser Eintrag erfolgt gleichermaßen in landwirtschaftlichen wie in naturnahen und natürlichen Ökosystemen.

Der Stickstoff der organischen bzw. Wirtschaftsdüngung lief bzw. läuft überregional betrachtet in einem internen Kreislauf. Der Stickstoff, den die Pflanzen den Böden entziehen, gelangt über die Nahrungskette zu den Menschen und Tieren. Die stickstoffhal-

tigen menschlichen und tierischen Exkremente, Abfälle aus der Lebensmittelverarbeitung, Siedlungsabfälle etc. gelangen wiederum als organische Dünger (teilweise) zurück auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen. Dieser Kreislauf ist jedoch in weiten Teilen unterbrochen worden. Insbesondere in der westlichen Intensivlandwirtschaft führte die räumliche Konzentration der Massentierhaltung mit Futtermittelimporten zu hohen Gülleüberschüssen, die auf den knappen Flächen als Wirtschaftsdünger nicht mehr ökologisch verträglich verwertet werden können. Der Konzentration in der Tierhaltung steht meist räumlich getrennt eine intensive Pflanzenproduktion mit oftmals überhöhtem Mineraldüngereinsatz gegenüber.

Durch diese Zerstörung der ursprünglichen Kreisläufe treten erhebliche Stickstoffverluste auf. Die Eiweißübersorgung in der Tierhaltung führt bei der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern zu gasförmigen N-Emissionen. Die entsprechenden Eiweißüberschüsse in der menschlichen Ernährung werden in Gewässern bzw. mit hohem technischen Aufwand in Kläranlagen zu stickstoffhaltigen Gasen abgebaut. In den Gewässern und Böden sind verschiedene mikrobielle Prozesse, insbesondere die Nitrifizierung und Denitrifizierung für die gasförmigen N-Verlusten und mithin für die Bildung von Distickstoffoxid (N_2O) und Stickstoffoxiden (NO_x) verantwortlich. Neben den gasförmigen N-Verlusten wird den landwirtschaftlichen Ökosystemen Stickstoff durch die Ernte der wachsenden Pflanzen und die (Nitrat-)Auswaschung und Abschwemmung in Grund- und Oberflächengewässer entzogen.

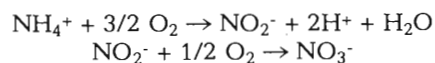
2.2.2 Mikrobiologische Prozesse

Böden stellen eine wichtige Quelle für N_2O und NO_x dar. An der Spurengasbildung sind sowohl biotische als auch abiotische Prozesse beteiligt. Zu den biotischen Prozessen gehören die Nitrifikation, die Denitrifikation, die dissimilatorische Reduktion von Nitrat zu Ammonium und die assimilatorische Reduktion von Nitrat unter Bildung von Zellbiomasse. Zu den abiotischen Prozessen gehören chemische Prozesse (Chemo-Denitrifikation) und die Verbrennung von Biomasse (Pyro-Denitrifikation) (Lobert u. a., 1990, In: Beese, 1994).

An den biotischen Vorgängen sind eine Vielzahl von verschiedenen Bodenmikroorganismen beteiligt, die über unterschiedliche biochemische Reaktionen NO bzw. N_2O freisetzen. Eine biologische Produktion von NO_2 konnte bisher nicht zweifelsfrei nachgewiesen werden. Die Nitrifikation und die Denitrifikation werden allgemein als die dominierenden Prozesse angesehen.

2.2.2.1 Nitrifikation

Unter Nitrifikation versteht man die biologische Oxidation von Ammonium (NH_4^+) zu Nitrat (NO_3^-). Dieser Prozeß erfolgt in zwei Schritten:



Der erste Schritt wird in den landwirtschaftlich genutzten Böden überwiegend von Bakterien der

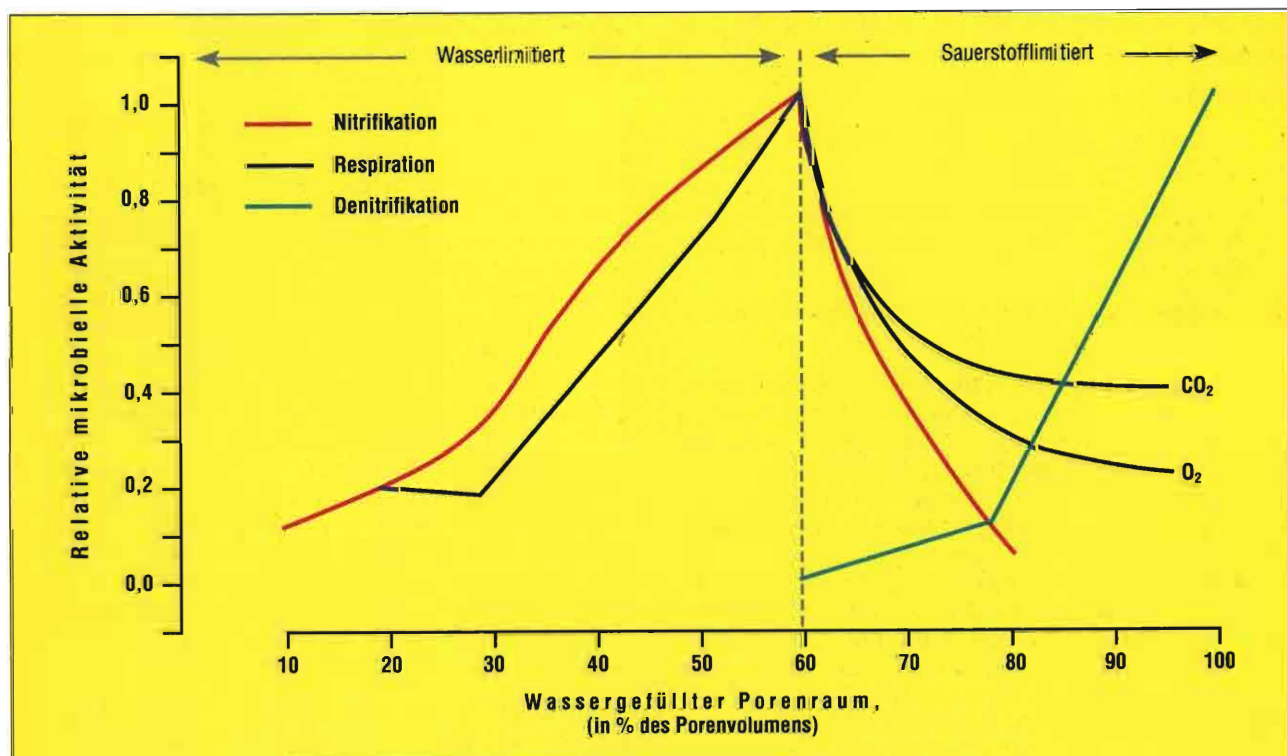


Abbildung 2.4: Beziehung zwischen der Wassersättigung des Bodens und der relativen Nitrifikation und Denitrifikation (nach Linn u. Doran, 1984, In: Beese, 1994):

Gattungen *Nitrosomonas* und *Nitrospira* durchgeführt, während für den zweiten Schritt im wesentlichen die Gattung *Nitrobacter* verantwortlich ist. Diese Organismen benötigen CO_2 , O_2 und NH_4^+ zum Wachstum und beziehen die notwendige Energie aus der Oxidation des Ammoniums (NH_4^+) bzw. des Nitrits (NO_2^-). Der Prozeß, der zur Produktion von N_2O während der Nitrifikation führt, ist noch nicht vollständig aufgeklärt.

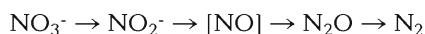
In landwirtschaftlich genutzten Böden ist die Verfügbarkeit von NH_4^+ die dominierende Größe, die die Nitrifikation regelt. Die Zufuhr von nitrifizierbarem Stickstoff (Harnstoff ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$), Ammoniak (NH_3) oder Ammoniumsulfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)) erhöht in der Regel die N_2O -Bildung deutlich (Bremner u. Blackmer, 1981, In: Beese, 1994). Die Zugabe von Nitrifikationshemmstoffen reduziert hingegen die Freisetzung der N-haltigen Spurengase.

Die Nitrifikation erreicht ihr Maximum bei ca. 60-prozentiger Wassersättigung des Bodens (Abb. 2.4). Bei höheren Wassergehalten sinkt die Aktivität durch den zunehmenden Sauerstoffmangel. Unter 60 % Wassersättigung nimmt die mikrobielle Aktivität und damit die Nitrifikation durch zunehmenden Wassermangel kontinuierlich ab (Beese, 1994). Die Nitrifikation und die damit verbundene N_2O -Freisetzung wird somit erheblich vom Wasser- und Sauerstoffhaushalt des Bodens (Porensystem, Humusgehalt etc.) und den klimatischen Faktoren (Niederschlag, Verdunstung etc.) beeinflusst. Wassermangel und weitgehende Wassersättigung reduzieren die Nitrifikation.

Darüber hinaus können niedrige pH-Werte, Phosphatmangel oder extreme Temperaturen die Nitrifikation hemmen, wie dies in vielen Böden natürlicher Ökosysteme beobachtet wurde (Haynes, 1986, In: Beese, 1994). Die optimalen Temperaturen für die Nitrifikation liegen zwischen 30 und 35°C. Temperaturen unter 5°C und über 40°C wirken stark hemmend (Beese, 1994). Bei der Nitrifikation werden schätzungsweise 1 bis 4 % des umgesetzten Stickstoffs als N_2O freigesetzt (Hutchinson u. Brams, 1992; Hutchinson u. a., 1992, Beide in: Beese, 1994).

2.2.2.2 Denitrifikation

Die mikrobielle Denitrifikation ist die Reduktion von Nitrat (NO_3^-) oder Nitrit (NO_2^-) unter anaeroben bzw. mikroaeroben zu NO , N_2O oder N_2 . Die Reaktionskette läßt sich folgendermaßen beschreiben:



N_2O — und in einigen Fällen auch das NO — können obligatorische Zwischenprodukte dieser Reaktionsketten sein. In Abhängigkeit von den Bodenbedingungen werden diese Zwischenprodukte in unterschiedlichem Maß freigesetzt. Die meisten Denitrifikanten sind fakultativ anaerobe heterotrophe Bakterien der Gattungen *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Alcaligenes* u. a.. Da Denitrifikanten eine sehr weite Verbreitung haben, wird die Denitrifikation weniger durch die Anwesenheit bzw. Aktivität der Mikroorganismen als vielmehr durch die Verfügbarkeit notwendiger Substrate oder die Umweltbedingungen beeinflusst (Firestone u. Davidson, 1989, In: Beese, 1994).

Die größte Bedeutung kommt im terrestrischen Bereich der Verfügbarkeit oder Abwesenheit von Sauerstoff, von geeigneten Reduktionsmitteln (in der Regel organisch gebundener Kohlenstoff) sowie von Elektronenakzeptoren (NO_3^- ; NO_2^-) zu.

Die Denitrifikation steigt generell mit sinkendem Sauerstoffgehalt im Boden und ist daher ebenfalls vom Luft- bzw. Wasserhaushalt, den physikalischen Bodeneigenschaften und den Klimafaktoren abhängig. Die N_2O -Freisetzung wird durch hohe Bodenwassergehalte stimuliert. Die höchste Denitrifikationsrate wird bei vollständiger Wassersättigung des Bodens erreicht (Abb. 2.4). Die Bildung von NO durch Denitrifikation erfolgt ebenfalls erst, wenn anaerobe Bodenverhältnisse vorliegen (Schuster u. Conrad, 1992, In: Beese, 1994).

Das Vorhandensein leicht abbaubarer organischer Substanz beeinflusst die Freisetzung N-haltiger Spurengase in mehrfacher Hinsicht. Die organische Substanz, die als ober- und unterirdischer Bestandesabfall in Böden gelangt, dient den dort lebenden Mikroorganismen als Energiequelle, als Elektronenspende und liefert darüberhinaus Material zum Aufbau von Biomasse. Die Mineralisierung der organischen Substanz ist mit einem hohen Sauerstoffverbrauch verbunden und kann daher rasch zu anaeroben Bodenbedingungen führen.

Die Denitrifikationsrate wird des weiteren entscheidend von der Konzentration der Ausgangssubstrate (Stickstoffoxide: NO_3^- , NO_2^- , NO , N_2O), insbesondere Nitrat im Boden beeinflusst. Bei einem Überangebot von Stickstoffoxiden im Verhältnis zum Reduktionsmittel wird ein höherer Anteil an N_2O gebildet. Im umgekehrten Fall verläuft ein höherer Anteil der Denitrifikation zum molekularen N_2 (Beese, 1994).

Bodentemperaturen unter 5°C oder über 40°C werden allgemein als limitierend für die Mikroorganismenaktivität angesehen. Die Denitrifikation sinkt mit abnehmender Temperatur, das $\text{N}_2\text{O}/\text{N}_2$ -Verhältnis steigt jedoch (Keeney u. a., 1979, In: Beese, 1994). Ähnlich verhält sich der Einfluß des Boden-pH-Wertes auf die Denitrifikation. Mit steigendem pH-Wert nimmt die komplette Reduktion von NO_3^- zu N_2 zu und die anteilige Freisetzung von N_2O und NO ab. Die Versauerung der Böden führt daher zu höheren NO - und N_2O -Emissionen (Nägele u. Conrad, 1990, Eaton u. Patriquin, 1984, Bollag u. a., 1973, Alle in: Beese, 1994). Verschiedene Befunde belegen auch in sauren Böden erhebliche Denitrifikationsraten (Van Cleemput u. a., 1976, Melillo, 1986, Beide in: Beese, 1994; Brumme u. Beese 1992), was auf eine Anpassung der Mikroorganismenpopulation an verschiedene Umweltbedingungen schließen läßt. Das Verhältnis von N_2O bzw. NO_x zu N_2 ist wesentlich von der Mikroorganismengesellschaft des Standortes abhängig (Munch, 1989 u. 1990, In: Beese, 1994).

Gerade die Komplexität der Umweltfaktoren und deren Veränderungen über Raum und Zeit (Tages- und Jahresgänge, inhomogene Bodenverhältnisse und Witterungsbedingungen etc.) bereiten erhebliche Probleme bei der Abschätzung der Freisetzung von NO_x und N_2O aus Böden. In Tab. 2.16 sind einige Größen angegeben, die das Verhältnis von N_2O zu N_2 bestimmen.

Tabelle 2.16

Bestimmungsfaktoren des N ₂ O/N ₂ -Verhältnisses bei der Denitrifikation (Firestone and Davidson, 1989, In: Beese, 1994)	
Faktoren	erhöht das N ₂ O/N ₂ -Verhältnis
(NO ₃ ⁻) oder (NO ₂ ⁻)	steigende Konzentration des Elektronenakzeptors
Sauerstoff	Anstieg des Sauerstoffpartialdruckes
Kohlenstoff	Abnahme der C-Verfügbarkeit
pH	sinkender pH-Wert
Temperatur	sinkende Temperatur
Enzym-Status	erniedrigte N ₂ O-Reduktase-Aktivität

2.2.3 Distickstoffoxidemissionen

Eine große Zahl von Umweltfaktoren, Bodeneigenschaften und Bewirtschaftungsfaktoren steuern die jeweilige Zusammensetzung der Bodenmikroorganismengesellschaft und die Höhe der NO_x- und N₂O-Freisetzung. Im Bereich der Landwirtschaft gilt die Stickstoffdüngung als der wesentliche Einflußfaktor auf die N₂O- und NO_x-Emissionen.

2.2.3.1 Düngung

Der weltweite Verbrauch von Stickstoffdüngern ist in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts deutlich angestiegen. 1960 lag der Weltverbrauch bei 11 Mio. t N/Jahr. Dies entsprach einer durchschnittlichen jährlichen Aufwandmenge von 8 kg N/ha Acker- und Dauerkulturläche (ohne Dauergrünland (DG)). Zwi-

Tabelle 2.17

Entwicklung des N-Mineraldüngerverbrauchs in verschiedenen Ländern und Regionen der Welt (1960 und 1990) (Bouwman u. a., 1991)					
	insgesamt 1960 in 1000 t	in kg N/ha. Acker- und Dauer- kulturläche (ohne DG)	Änderung in %/Jahr 1960 bis 1990	insgesamt 1990 in 1000 t	in kg N/ha. Acker- und Dauer- kulturläche (ohne DG)
1 Belgien/Luxemburg	100	107	2.3	197	240
2 Dänemark	124	44	3.0	377	147
3 Frankreich	565	26	5.2	2 604	133
4 Bundesrepublik Deutschland	618	73	3.1	1 540	206
5 ehemalige DDR	246	40	4.3	873	177
6 Griechenland	73	20	5.9	409	104
7 Irland	25	10	9.2	349	362
8 Italien	333	21	3.5	925	76
9 Niederlande	234	227	2.1	435	467
10 Portugal	64	15	3.0	157	57
11 Spanien	275	13	4.8	1 121	55
12 Großbritannien	463	64	3.9	1 462	200
1—12 Europäische Länder	3 119	34	4.1	10 448	125
13 weitere europäische OECD-Länder	292	8	6.3	1 837	51
14 Australien und Japan	752	21	1.2	1 067	20
15 Nicht-EU Nicht-OECD Europa	576	11	7.2	4 654	96
16 ehemalige UdSSR	820	4	9.2	11 507	50
17 USA und Kanada	3 025	13	4.3	10 834	46
18 Süd- und Mittelamerika	432	4	7.5	3 809	21
19 Afrika	340	?	6.3	2 113	11
20 Nah-Ost	40	1	11.5	1 260	34
21 Zentralverwalt. Asien	960	8	10.5	19 549	178
22 Süd- und Ostasien	680	3	10.2	12 390	46
Welt insgesamt	11 051	0	6.0	79 563	54
offizielle Angaben	10 200			79 563	
Differenz	851			0	

schen 1960 und 1990 stieg der weltweite Verbrauch um durchschnittlich 6,8 %/Jahr. 1990 betrug der Weltverbrauch bereits 79,6 Mio. t N, was einer durchschnittlichen Aufwandmenge von 54 kg N/ha Acker- und Dauerkulturfläche (ohne DG) entsprach (Bouwman u. a., 1991).

Die Intensität des Mineraldüngereinsatzes ist jedoch regional sehr unterschiedlich verteilt. Von den im Jahr 1990 weltweit ausgebrachten 80 Mio. t N-Mineraldünger entfielen auf die EU 10,5 Mio. t N (13,1 Prozent). In Deutschland wurden rund 2,4 Mio. t N Mineraldünger ausgebracht, das sind etwa 3 % des weltweiten N-Düngereinsatzes. Nach Tab. 2.17 entsprach dies einer durchschnittlichen Aufwandmenge von 125 kg N/ha Acker- und Dauerkulturfläche (ohne DG) in der EU bzw. 206 kg N/ha in der Bundesrepublik Deutschland und sogar 467 kg N/ha in den Niederlanden. In Afrika lag der durchschnittliche Stickstoff-Düngereinsatz dagegen bei nur 11 kg N/ha und in Lateinamerika bei 21 kg N/ha (bezogen auf die

jeweilige Acker- und Dauerkulturfläche ohne Dauerkgrünland).

In den mitteleuropäischen EU-Staaten ist künftig auch aufgrund wachsender Produktionsüberschüsse und Umweltprobleme nicht mit einer weiteren Steigerung der Stickstoffdüngung zu rechnen. Bis 2025 wird sogar ein jährlicher Rückgang des gesamten Stickstoff-Mineraldüngereinsatzes um 0,4 % prognostiziert. Dennoch wird in einigen EU-Ländern mit einer zur Zeit noch relativ geringen Bewirtschaftungsintensität der Düngemittelverbrauch weiter zunehmen. Durch die Flächenstillegung infolge der EU-Agrarreform nimmt die Anbaufläche ab. Diese Verknappung des Produktionsfaktors Boden kann tendentiell zur Intensivierung auf den weiterhin bewirtschafteten Restflächen führen (UBA, 1993; Scheele u. Schmitt, 1993). Weltweit wird der N-Düngerverbrauch weiter ansteigen. Bis zum Jahr 2025 wird ein jährlicher Anstieg von 1,3 % vorhergesagt (Bouwman u. a., 1991). Vor allem in den sich entwickelnden Ländern Lateinamerikas,

Tabelle 2.18

Entwicklung der N₂O-N-Emissionen entsprechend dem N-Mineraldüngerverbrauch in verschiedenen Ländern und Regionen der Welt (1960, 1990 und 2025) (Bouwman u. a., 1991)

Jahr	1960		1990		2025	
Anteil der N ₂ O-N-Verluste an der N-Düngung (in %)	0,4 %	3,2 %	0,4 %	3,2 %	0,4 %	3,2 %
1 Belgien/Luxemburg	0.4	3.2	0.8	6.3	0.7	5.4
2 Dänemark	0.5	4.0	1.5	12.1	1.3	10.2
3 Frankreich	2.3	18.1	10.4	83.3	8.8	70.8
4 Bundesrepublik Deutschland	2.5	19.8	6.2	49.3	5.2	41.9
5 ehemalige DDR	1.0	7.9	3.5	27.0	3.0	23.7
6 Griechenland	0.3	2.3	1.6	13.1	1.4	11.1
7 Irland	0.1	0.8	1.4	11.2	1.2	9.5
8 Italien	1.3	10.6	3.7	29.6	3.1	25.1
9 Niederlande	0.9	7.5	1.7	13.9	1.5	11.0
10 Portugal	0.3	2.0	0.6	5.0	0.5	4.3
11 Spanien	1.1	8.8	4.5	35.9	3.0	30.5
12 Großbritannien	1.9	14.0	5.0	46.8	5.0	39.7
1—12 Europäische Länder	12.5	99.8	41.0	331.1	35.5	284.0
13 weitere europäische OECD-Länder	1.2	9.3	7.3	50.0	6.2	49.9
14 Australien und Japan	3.0	24.0	4.3	34.1	4.4	35.4
15 Nicht-EU Nicht-OECD Europa	2.3	10.4	18.6	148.9	25.0	206.3
16 ehemalige UdSSR	3.3	26.2	46.3	370.0	64.2	513.5
17 USA und Kanada	12.1	96.0	43.3	346.7	45.0	360.0
18 Süd- und Mittelamerika	1.7	13.8	15.2	121.9	31.8	254.2
19 Afrika	1.4	10.9	8.5	67.6	23.2	185.9
20 Nah-Ost	0.2	1.5	5.1	40.6	11.3	90.3
21 Zentralverwalt. Asien	3.9	31.0	78.2	626.6	115.7	925.5
22 Süd- und Ostasien	2.7	21.7	49.6	396.7	110.3	882.7
Welt insgesamt	44	354	318	2 546	473	3 788

Afrikas und Asiens ist mit steigenden Zuwachsraten zu rechnen. Der Stickstoffdüngerverbrauch wird daher voraussichtlich von derzeit 80 Mio. t auf 120 Mio. t im Jahr 2025 steigen (IPCC, 1992). Dieser Zuwachs wird zu einer entsprechend verstärkten Freisetzung von N_2O führen (Tab. 2.18).

Die bisherigen Ansätze zur Abschätzung regionaler oder globaler N-haltiger Emissionen aus Böden beschränken sich auf die Annahme eines prozentualen Anteils der N-Emissionen an der ausgebrachten Stickstoffdüngung. Die Auswertung zahlreicher vorliegender Versuchsergebnisse führte zu einer Abschätzung des durchschnittlichen Anteils der N_2O -Emissionen an den gasförmigen Stickstoffverlusten verschiedener Düngerarten. Im Mittel betragen die Verluste 0,5 bis 2 % (Bolle u. a., 1986, In: Beese, 1994) bzw. 0,2 bis 1,6 % (Eichner, 1990, In: Beese, 1994). Daraus ergibt sich derzeit eine direkt düngerbedingte Emission von 0,4 bis 1,6 Mio. t N_2O -N/Jahr bzw. 0,1 bis 1,3 Mio. t N_2O -N/Jahr. Der auf die landwirtschaftlich genutzten Flächen ausgebrachte Stickstoff verbleibt jedoch nicht im Agrarökosystem, sondern wird über das Sickerwasser in das Grundwasser, über Abschwemmung in Oberflächengewässer und gasförmig über die Atmosphäre in benachbarte Ökosysteme verfrachtet. Dort liegen u.U. günstigere Bedingungen für die N_2O -Bildung vor. Erhebliche Anteile der N_2O -Freisetzung aus natürlichen und naturnahen Ökosystemen sind daher der Überdüngung durch die Landwirtschaft anzulasten. Unter der realistischen Annahme, daß von den ausgebrachten Stickstoff-Mineraldüngern mindestens die gleiche Stickstoffmenge in anderen Bereichen der Biosphäre umgesetzt wird wie direkt auf den Äckern, ergibt sich insgesamt eine düngerbedingte Freisetzung von 0,8 bis 3,2 Mio. t N_2O -N/Jahr bzw. 0,2 bis 2,6 Mio. t N_2O -N/Jahr (Beese, 1994). Nach IPCC (1992) werden etwa 3 % des ausgebrachten N-Mineraldüngers in N_2O umgesetzt. Die düngerbedingte Freisetzung beträgt somit weltweit schätzungsweise 2,5 Mio. t N_2O -N/Jahr.

Nach Tab. 2.18 liegen die globalen N_2O -Emissionen 1990 zwischen 0,318 und 2,546 Mio. t N_2O -N/Jahr. Die Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland (ABL u. NBL) liegen zwischen 9 700 t/Jahr und 77 000 t/Jahr (0,4 bzw. 3,2 %). Berücksichtigt man in der Berechnung der regionalen Emissionen zusätzlich die unterschiedlichen Düngerarten entsprechend ihrer spezifischen Emissionsfaktoren (nach Eichner, 1990, In: Beese, 1994), verschieben sich die Anteile an den N_2O -Emissionen zum Teil erheblich. Eine Auswertung zahlreicher vorliegender Versuchsreihen ergab eine mittlere N_2O -N-Emission (Anteil an der ausgebrachten N-Menge) bei verschiedenen Düngerformen von 2,7 % bei reinen Ammoniakdüngern, 0,44 % bei Ammonium-Nitrat-Düngern, 0,07 % bei Kalium-, Calcium- oder Natrium-Nitrat-Düngern, 0,11 % bei Harnstoff und von 0,25 % bei Gründüngung (Eichner, 1990, In: Beese, 1994). Die Bundesrepublik Deutschland ist aufgrund des hohen Anteils an Ammonium-Nitrat-Düngern mit tendenziell niedriger N_2O -Emission trotz eines Anteils am weltweiten N-Düngereinsatz von 3 % nur mit 2,4 % an der weltweiten N_2O -Emission beteiligt. Nordamerika hat dagegen einen im Vergleich zur ausgebrachten N-Dünger-menge überproportionalen Beitrag an den N_2O -Emis-

sionen. Hier werden 13,5 % des weltweiten N-Düngers ausgebracht, aber 43,5 % des N_2O -N emittiert. Die Ursache dafür liegt in der verbreiteten Anwendung von Ammoniakdüngern, die besonders hohe N_2O -Emissionen verursachen (Bouwman et al., 1991). Die Düngerart hat jedoch nur einen kurzfristigen Einfluß auf die Höhe der N_2O -Emissionen, bei langfristiger Betrachtung ist der Überschuß an Düngemitteln der entscheidende Faktor.

Ein entscheidender Mangel im Hinblick auf eine globale Abschätzung der N_2O -Emissionen auf der Grundlage der bislang vorliegenden Ergebnisse ist darin zu sehen, daß beispielsweise Bodenunterschiede, Klimafaktoren und die Art der Bewirtschaftung bisher nicht in die Betrachtung einbezogen wurden. Die Gesamtsituation kann nur verbessert werden, wenn stärker als bisher die steuernden Faktoren unter Feldbedingungen bei den Untersuchungen berücksichtigt werden. Dabei müssen insbesondere die Einflüsse des jeweiligen standörtlichen Temperatur- und Wasserhaushalts, der Bestandesentwicklung und der Fruchtfolgen auf die NO_x - und N_2O -Freisetzung bei verschiedenen Düngerformen, Düngermengen und Düngerverteilungen ermittelt werden. Gegen die Verwendung konstanter N_2O/N_2 -Verhältnisse sowie fester %sätze müssen generelle Vorbehalte erhoben werden. Dennoch ist die Verwendung solcher Kenngrößen derzeit die einzige Möglichkeit, um auf nationaler, kontinentaler oder globaler Ebene die N_2O -Emissionen abzuschätzen (Beese, 1994).

Alle bisher genannten Angaben zu N_2O -Emissionen beruhen zudem ausschließlich auf dem Stickstoffeintrag in die Landwirtschaft durch die Anwendung von Mineraldüngern. Noch nicht berücksichtigt ist der Eintrag durch Wirtschaftsdünger, die Stickstofffixierung durch den Anbau von Leguminosen und der Stickstoffeintrag aus der Atmosphäre. Der Stickstoffeintrag durch den Anbau von Futter- und Nahrungsleguminosen hat weltweit den Umfang der Mineraldüngung (80 bis 90 Mio. t N/Jahr; Hauck, 1988, In: Beese, 1994; IPCC, 1992). Die Stickstoffeinträge aus der Atmosphäre sind global nicht abschätzbar, liegen aber verschiedenen Angaben zufolge in Mitteleuropa zwischen 20 und 80 kg N/ha x Jahr (Kreutzer, 1993). Der Stickstoffeintrag aus der organischen Düngung (Tierexkremente, Siedlungsabfälle etc.) ist global ebenfalls nicht abschätzbar, zumal unbestimmt ist, welcher Anteil dieses Stickstoffs sich in einem landwirtschaftsinternen Kreislauf befindet oder — insbesondere in der intensiv betriebenen Landwirtschaft der Industrieländer — den Kreislauf verläßt. Der Stickstoffüberschuß, der dem System ursprünglich im Bereich der Landwirtschaft zugeführt wurde, trägt über verschiedene Wege zu N_2O -Emissionen bei. Beginnend mit dem innerbetrieblichen N-Kreislauf, über Verarbeitungsbetriebe, Siedlungen und Abfallbeseitigung treten gasförmige N-Freisetzungen auf. Bei der Abwasseraufbereitung werden in der Denitrifikationsstufe aufgrund der Eiweißüberschüsse in der menschlichen Ernährung in erheblichem Umfang N-haltige Gase und anteilig N_2O freigesetzt. Die Ammoniakemissionen (NH_3), die im wesentlichen durch die landwirtschaftliche Güllelagerung und -düngung verursacht werden, tragen maßgeblich zur Eutrophie-

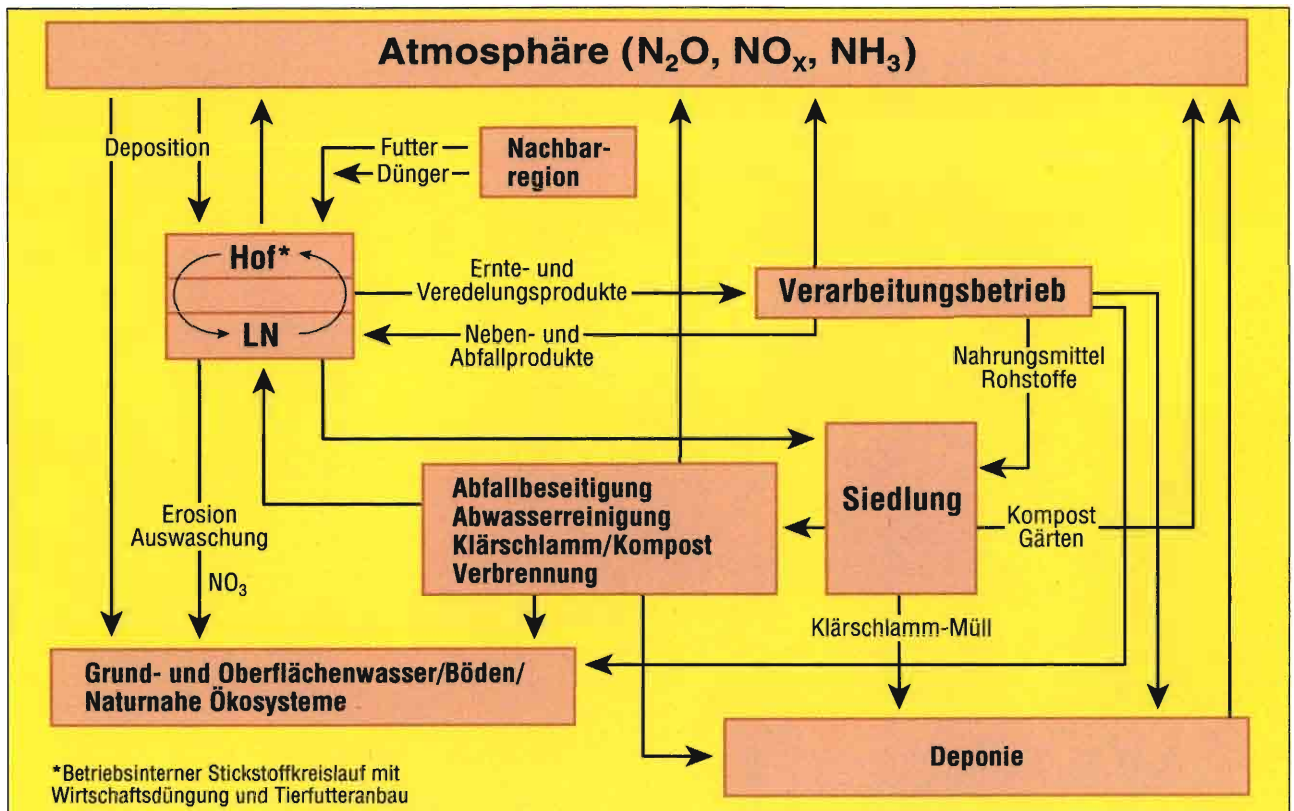


Abbildung 2.5: Stickstoffflüsse zwischen landwirtschaftlich genutzten Flächen und Konsumenten (nach Beese, 1994).

rung (Überdüngung) und Versauerung naturnaher Ökosysteme (Waldsterben) bei. Der überschüssig eingebrachte Stickstoff gelangt als Nitrat ins Grundwasser oder wird gasförmig freigesetzt. Die jährlichen Stickstoffverluste aus landwirtschaftlich genutzten Flächen werden für die alten Bundesländer Deutschlands auf ca. 25 kg N/ha x Jahr durch Denitrifikation, 44 kg N/ha x Jahr durch Ammoniakausgasung und 50 kg N/ha x Jahr durch Nitratauswaschung geschätzt (Kuntze, 1991). Die wirtschaftlichen Verluste allein durch die Ammoniakausgasung belaufen sich in der Bundesrepublik Deutschland nach vorsichtigen Schätzungen auf 250 bis 300 Mio. DM/Jahr, gemessen an dem Düngerwert des Stickstoffs (Brockhoff, 1991). Durch die Eutrophierung wirken nichtlandwirtschaftliche Ökosysteme (Wälder, Oberflächen- und Grundwässer) als „Transformatoren“ des eingebrachten Stickstoffs in langlebige klimawirksame Spurengase (N_2O) (Kreutzer, 1993). Die N_2O -Emissionen, die von der Landwirtschaft verursacht werden, liegen daher deutlich über den obengenannten Emissionswerten. Wenn es gilt, die Quellen für unerwünschte Spurengase (N_2O , NO_x und NH_3) zu stopfen, müssen außerhalb der Landnutzung liegende Kreisläufe in die Betrachtung mit einbezogen werden. In Abb. 2.5 ist daher schematisch dargestellt, wo Stickstoffverluste auftreten können. Ziel muß es sein, auch diese — durch zunehmende Spezialisierung und Intensivierung zerstörten — Kreisläufe wieder weitgehend zu schließen und den größten Teil des von den landwirt-

schaftlich genutzten Flächen exportierten Stickstoffs wieder in die Landwirtschaft zurückzuführen (Beese, 1994).

Die Abweichung zwischen den bisherigen Annahmen und den tatsächlich von der Landwirtschaft verursachten N_2O -Emissionen wird im folgenden am Beispiel einer nationalen Stickstoffbilanz für die Bundesrepublik Deutschland veranschaulicht. Zunächst werden die verschiedenen Stickstoffeinträge dargestellt.

a) Depositionen

Zum N-Eintrag in landwirtschaftliche Nutzflächen bzw. zur N-Belastung aller Ökosysteme tragen neben den von der Landwirtschaft verursachten Ammoniak-Emissionen (Tierhaltung, Wirtschaftsdüngung) auch die Stickstoffoxid-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger in Verkehr, Industrie, Haushalten und auch in der Landwirtschaft bei. Die nationalen Emissionen sind in Abschnitt C, Kap. 3.5.3, Tab. 3.8 dargestellt.

Die Abschätzung der trockenen Deposition von NO_x und NH_3 bzw. NH_4^+ ist wegen der vielen Einflußgrößen (Immissionsdichte, Depositionsgeschwindigkeit, Bestand, Mikroklima etc.) sehr schwierig (Hadwiger-Fangmeier u. a., 1992). Die gemessenen Jahresmittel der nassen NH_4^+ -Deposition auf Freilandflächen

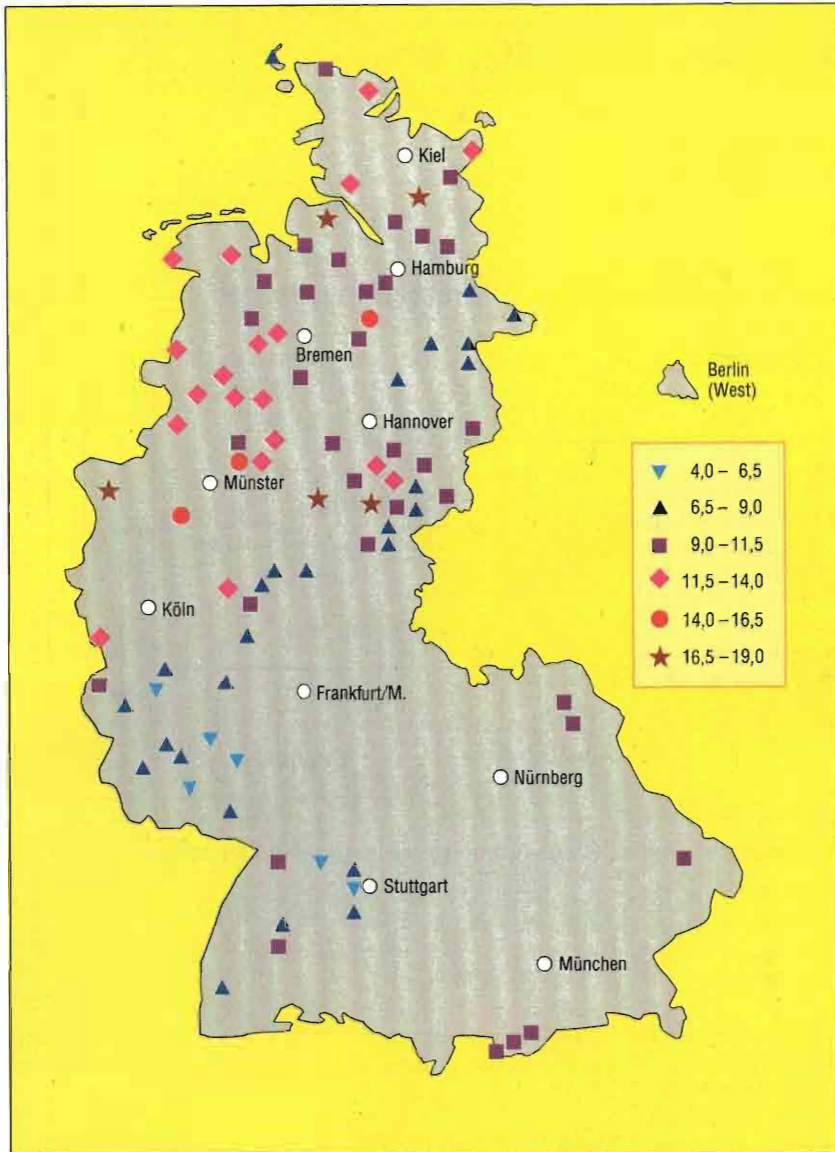


Abbildung 2.6: Mittlere Bulk1)-Depositionsraten von Ammoniak (in kg NH_4^+ /ha x Jahr) im Freiland (ABL: 1983-1987) (nach FBW, 1989, In: Hadwiger-Fangmeier u. a., 1992)

1) Bulk-Deposition = nasse und trockene Deposition sedimentierender Stoffe

schwanken regional zwischen 2 und 22 kg NH_4^+ -N/ha x Jahr (Abb. 2.6) (FBW, 1989; Wintermeyer u. Klockow, 1989, Beide in: Hadwiger-Fangmeier u. a., 1992). Für die neuen Bundesländer wird die $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ -Gesamtdeposition auf 15 bis 25 kg N/ha x Jahr geschätzt (Möller u. Schieferdecker, 1989, In: Hadwiger-Fangmeier u. a., 1992). Die durchschnittliche Gesamtdeposition für die alten und neuen Länder wird mit 16,4 kg N/ha x Jahr (bei erheblicher kleinräumiger Variabilität) angegeben (Hadwiger-Fangmeier u. a., 1992). Besonders im westdeutschen Raum und in weiten Bereichen der norddeutschen Tiefebene sind erhöhte $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ -Einträge zu beobachten.

Neben dem Ammoniak/Ammonium ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$) tragen auch die Stickstoffoxide (NO_x) bzw. daraus gebildete Säuren/-Ionen ($\text{HNO}_3/\text{NO}_3^-$) zu dem gesamten

Eintrag von Stickstoff bei. In Tab. 2.19 sind aktuelle Meßergebnisse der Freiland-N-Deposition in verschiedenen Regionen Westeuropas aufgeführt.

Die N-Einträge allein aus der nassen Deposition liegen demnach in Deutschland (ABL und NBL) zwischen 11 und 40 kg N/ha x Jahr. Hierzu sind die Einträge aus der trockenen Deposition noch zu addieren. Je nach Art der Vegetationsbedeckung können die Depositionsraten insbesondere in belasteten Regionen wesentlich höher liegen. Erklärt wird dies durch den „Auskämmeffekt“ der rauen Vegetationsoberflächen, an denen sich trockene Depositionen verstärkt ablagern und durch Stammabfluß und Kronentraufe in den Boden gelangen. Besonders ausgeprägt ist dieser Effekt in Wäldern, bzw. an Waldrändern (Abschnitt C, Kap. 3.5.3) (Isermann, 1994). Ebenso können die N-Einträge auch in Abhängigkeit

Tabelle 2.19

Nasse (Ionogene) und trockene (gasförmige) Freiland-N-Depositionen in einigen Regionen Westeuropas (Isermann, 1994)

Land	Oberfläche	Atmosphärische N-Deposition (kg N/ha.a)					
		Reduzierter N		Oxydierter N			Gesamt-N
		NH ₄ ⁺	NH ₃	NO ₃ ⁻	NO _x	HNO ₃	
1. Niederlande (1980) (CCRMX 1988)							
a) nur ionogen	Gesamte Vegetation	14,2	—	7,4	—	—	21,6
b) zusätzlich gasförmig		14,2	9,4	7,4	13,3	1,6	45,9
2. Süd/Ost-England (Goulding 1990)							
a) nur ionogen	Ackerpflanzen (n=4 Standorte)	5,8	—	5,9	—	—	11,7
b) zusätzlich gasförmig		5,8	13,7	5,9	5,5	6,5	37,4
3. DDR (Graf und Nagel 1990)	Glasgefäß	22,0	—	18,0	—	—	40,0
4. BRD							
a) Hessen (1983/1988) (Balázs 1991)	Glasgefäß	5,3	—	7,5	—	—	12,8
b) Bayern (1987/1989) (Müller et al. 1990)	Glasgefäß	12,0	—	6,0	—	—	21,0
c) Baden-Württemberg (1988/1990) (Hochstein und Hildebrand 1988)	Glasgefäß	5,9	—	5,2	—	—	11,1
5. Nordsee (Asman 1987, Toupance 1987)	Glasgefäß	7,0	—	3,0	—	—	10,0
6. Ostsee (Asman 1987, Toupance 1987)	Glasgefäß	4,0	—	3,0	—	—	7,0

von der Emissionsdichte bzw. der Nähe zum Emittenten (Industriegebiet, Massentierhaltung) regional noch erheblich höher sein. In den Niederlanden wurden Einträge bis zu 200 kg N/ha x Jahr, in der Wingst bis 72 kg N/ha x Jahr gemessen, die immer durch entsprechend hohe NH₃/NH₄⁺-Einträge aus der Landwirtschaft verursacht sind (Zöttl, 1990; Lamersdorf u. Büttner, 1989; Beide in: Isermann, 1994). Die jetzige N-Belastung in der Bundesrepublik Deutschland wird von Isermann (1994) mit etwa 30 kg N/ha x Jahr für Freilandflächen (Grünland-, Ackerflächen etc.) und mit etwa 20 bis 80 kg N/ha x Jahr für Wälder angegeben.

b) Mineraldüngung

In der Bundesrepublik Deutschland (ABL+NBL) wurden 1990 2,413 Mio. t N als Mineraldünger ausgebracht (Bouwman u. a., 1991). Bezogen auf die landwirtschaftlich genutzte Fläche (1992: 16,858 Mio. ha; BML, 1993 b) ergibt sich ein durchschnittlicher Düngereinsatz von 143 kg N/ha x Jahr. In den alten Bundesländern ist der Stickstoffeinsatz seit seinem Höchststand 1988 leicht rückläufig. Dieser Trend ist auch in den neuen Ländern erkennbar.

Tabelle 2.20

Stickstoffdüngerverbrauch der Landwirtschaft in Deutschland (Alte Länder)
(in 1000 Tonnen N) (BML, 1993 b und d)

1950/1951	1960/1961	1970/1971	1980/1981	1987/1988	1988/1989	1989/1990	1990/1991	1991/1992	1992/1993
362	619	1 131	1 551	1 601	1 540	1 487	1 368	1 351	1 280
kg N je Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche									
25,6	43,4	83,3	126,6	133,9	129,2	125,1	115,3	114,1	108,2

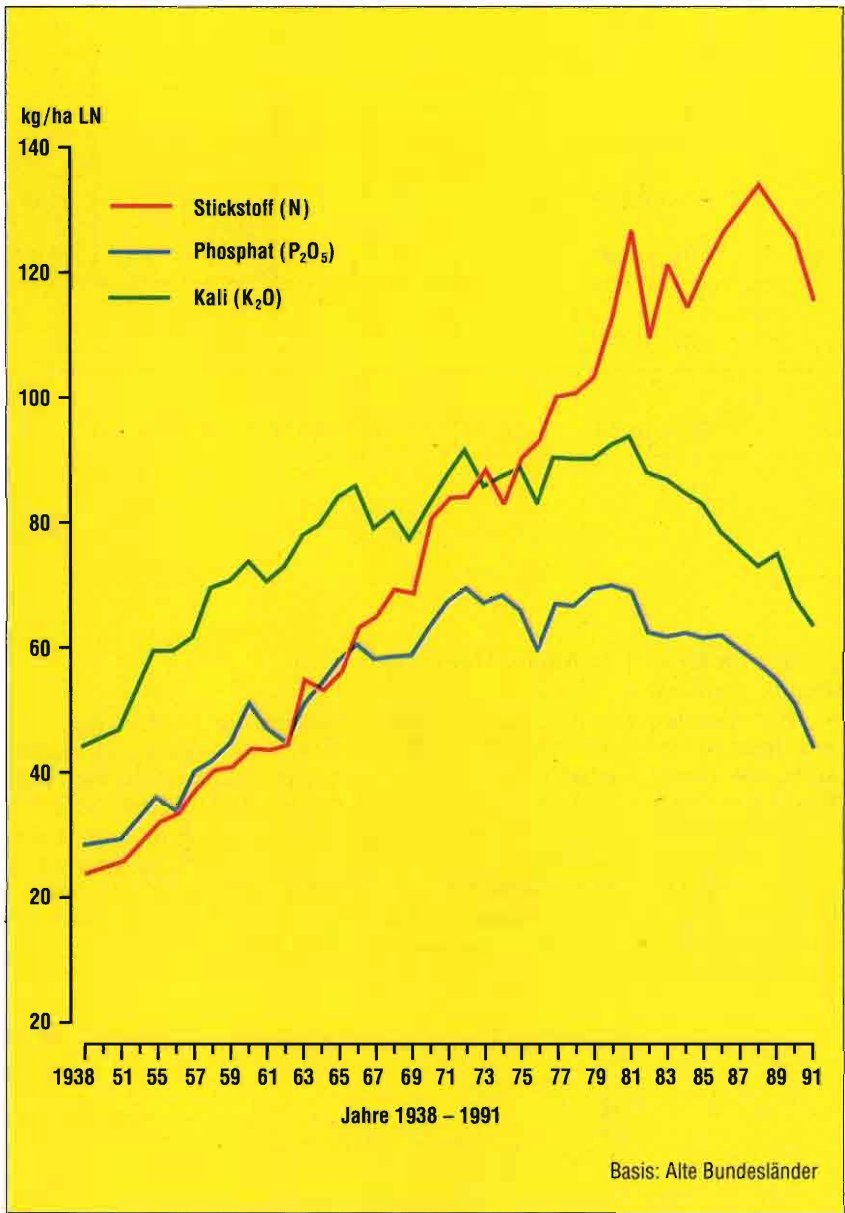


Abbildung 2.7: Entwicklung des Düngereinsatzes in der Bundesrepublik Deutschland
(Statistische Jahrbücher des BML).

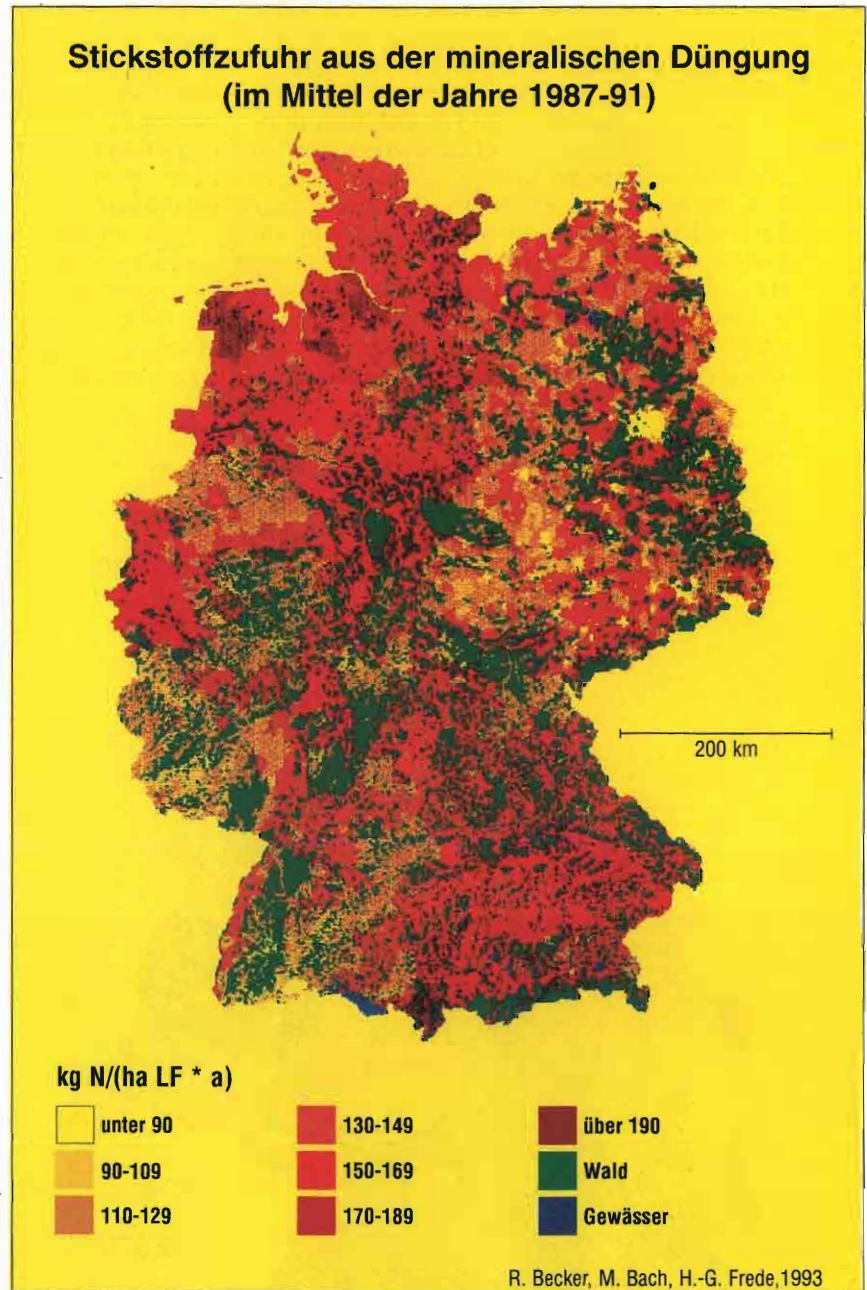


Abbildung 2.8: Stickstoffzufuhr aus der mineralischen Düngung (1987/1991) (Becker u. a., 1993, In: Isermann, 1994):

In der Abb. 2.8 ist die regionale Intensitätsverteilung der mineralischen Stickstoffdüngung dargestellt.

c) Biologische N-Fixierung

Durch den Anbau von Leguminosen wird weltweit etwa die gleiche Menge an Stickstoff eingebracht, wie durch die Mineraldüngung (80 bis 90 Mio. t N) (Hauck, 1988, In: Beese, 1994; IPCC, 1992). Im Mittel kann mit einer N₂-Fixierung durch Leguminosen in Höhe von 125 kg N/ha x Jahr (50 bis 250 kg N/ha x Jahr) gerechnet werden. Der Anbau von Leguminosen ist in Deutschland jedoch stark rückläufig (Abb. 2.14). Im

Mittel der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche geht man daher von einer jährlichen symbiotischen N₂-Fixierung in Höhe von 15 kg N/ha LN aus. Die asymbiotische N₂-Fixierung durch freilebende Mikroorganismen wird auf Ackerland gemäßigter Breiten auf 7 bis 28 kg N/ha x Jahr geschätzt (Hauck, 1971, In: Mengel, 1984).

d) Wirtschaftsdüngung/Import von Futtermitteln

Der Stickstoff, der mit Wirtschaftsdüngern aus tierischen Exkrementen ausgebracht wird, läuft normalerweise in einem innerbetrieblichen Kreislauf. Durch

die zunehmende Spezialisierung und die daraus folgende teilweise Trennung von Tierhaltung und Pflanzenbau wurden die innerbetrieblichen bzw. regionalen Stickstoffkreisläufe zerstört. Die räumlich konzentrierte intensive Massentierhaltung ist auf Zukauffuttermittel, meist Importfuttermittel angewiesen. Allein durch Futtermittelimporte gelangen jährlich etwa 500 000 t Stickstoff in den Nährstoffkreislauf der alten Bundesländer (Leser, 1993). Umgerechnet auf die landwirtschaftliche Nutzfläche (ABL 1992: 11,73 Mio. ha; BML, 1993 b) errechnet sich allein aus den Futtermittelimporten ein Stickstoffeintrag von etwa 42 kg N/ha. Andere Berechnungen kommen auf 47 kg N/ha (Isermann, 1994). Die durchschnittliche

N-Zufuhr durch Wirtschaftsdünger wird im Mittel aller landwirtschaftlichen Nutzflächen auf etwa 60 bis 80 kg N/ha x Jahr geschätzt. Hierbei wurden die mit den Exkrementen ausgebrachten Stickstoffmengen bereits um 20 % reduziert, da im Stall sowie bei der Lagerung und Ausbringung erhebliche Stickstoffverluste durch die Ammoniakausgasung auftreten (Wendland u. a., 1993, In: Isermann, 1994). Die regionale Verteilung des N-Eintrags aus Wirtschaftsdüngern ist aus Abb. 2.9 ersichtlich. Es wird deutlich, daß die Wirtschaftsdüngung aufgrund der Konzentration der Tierhaltung bzw. der Desintegration von Tier- und Pflanzenproduktion vor allem in Nordwestdeutschland (Vechta-Cloppenburg, Ostwestfalen, Münster-

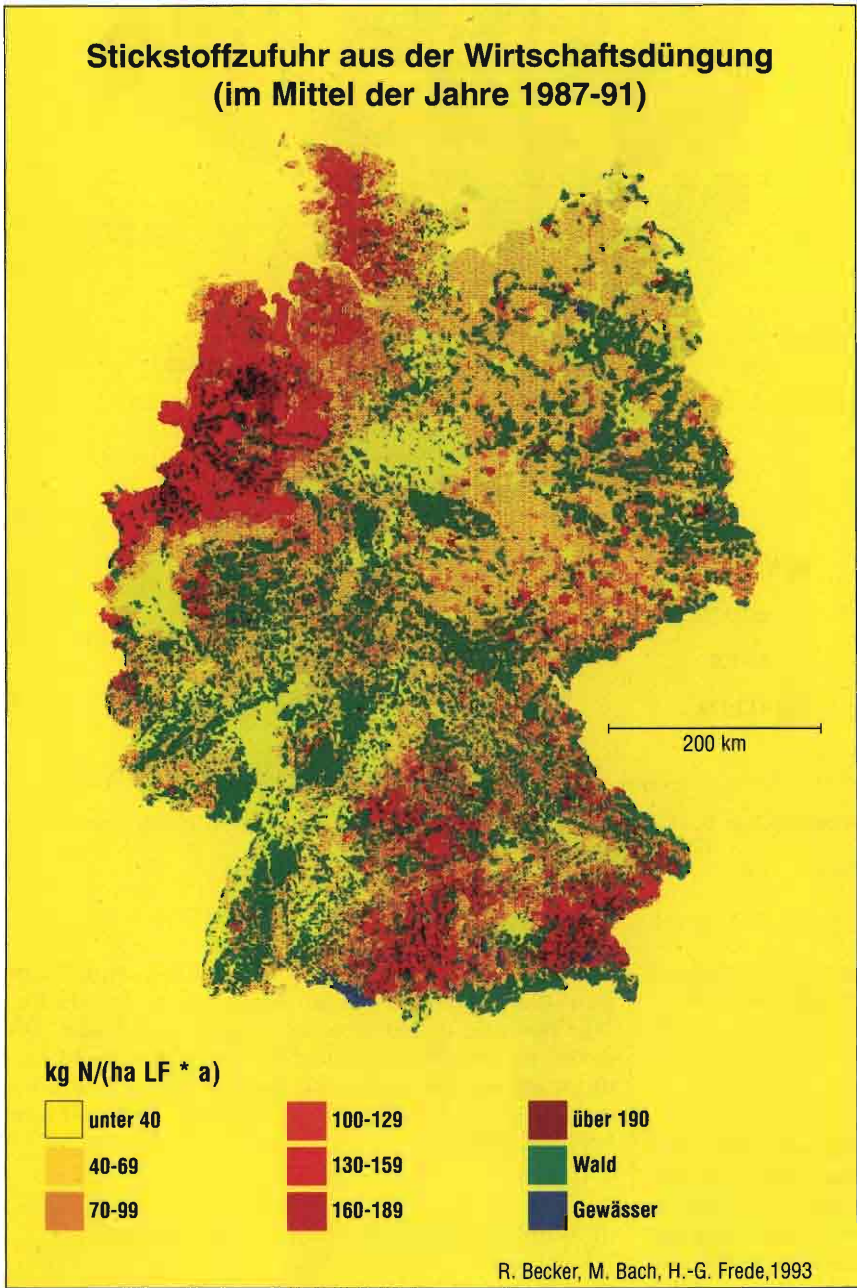


Abbildung 2.9: Stickstoffzufuhr aus der Düngung mit tierischen Wirtschaftsdüngern (1987/1991) (Becker u. a., 1993, In: Isermann, 1994):

land) und einigen Regionen von Baden-Württemberg und Bayern zu erheblich überhöhten Stickstoffeinträgen führt.

e) Flächenbezogene Bilanzierung

Vergleicht man die Summe der verschiedenen Stickstoffeinträge auf landwirtschaftlichen Nutzflächen mit dem Entzug durch die Pflanzen, ergeben sich erhebliche Stickstoffüberschüsse.

Diese Bilanz enthält noch nicht den möglichen Stickstoffeintrag durch den N-Rücklauf aus Nachbarsystemen (Klärschlämme, Abwässer, Siedlungsabfälle etc.). Abb. 2.10 stellt die N-Bilanzüberschüsse in ihrer regionalen Verteilung dar.

Tabelle 2.21

Mittelwerte der einzelnen Stickstoffbilanzgrößen in den alten (1991) und neuen Bundesländern (1987/1989) (nach Wendland u. a., 1993, In: Isermann, 1994; ergänzt)

	Alte Bundesländer (kg N/ha LF)	Neue Bundesländer (kg N/ha LF)
Mineraldüngung	137	132
biotische N-Fixierung ...	30	30
Wirtschaftsdüngung	83	61
Deposition	30	30
Zufuhr	280	253
Entzug durch Pflanzen ..	145	133
Saldo	135	120

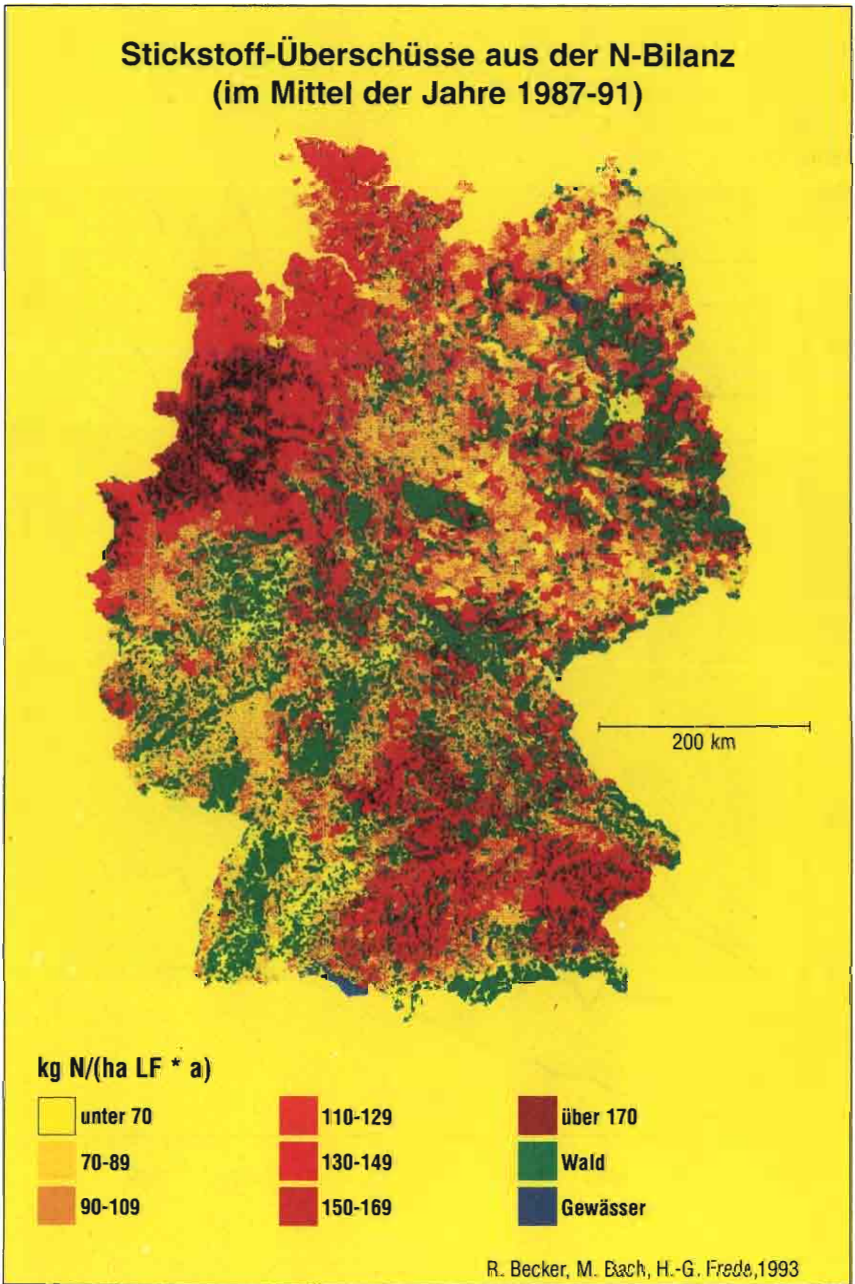


Abbildung 2.10: Regionale Verteilung der Stickstoffbilanzüberschüsse (1987/1991) (Becker u. a., 1993, In: Isermann, 1994):

In Abb. 2.11 ist die Entwicklung der N-Bilanzen für die alten Bundesländer seit 1950 dargestellt. Die Stickstoffüberschüsse sind seit Beginn der sechziger Jahre kontinuierlich angestiegen. Außerdem wird deutlich, daß die Überschüsse eng an den übermäßigen Einsatz von mineralischen N-Düngern gekoppelt sind. Daß dennoch die Intensivtierhaltungsgebiete besonders hohe Bilanzüberschüsse aufweisen (vgl. Abb. 2.10), ist auf die noch weit verbreitete Unterbewertung der Gülle als Wirtschaftsdünger zurückzuführen. Die Gülleüberschüsse werden allzu oft auf den Flächen „entsorgt“, statt sie gezielt als Dünger einzusetzen. Trotz Gülleddüngung werden die Flächen teilweise zusätzlich mineralisch gedüngt. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die Tatsache, daß die N_2O -Emissionen mit steigendem Stickstoffumsatz, also steigendem N-Bilanzüberschuß im Boden überproportional zunehmen (Munack, 1993; Beese, 1994).

Selbst unter der vorsichtigen Annahme eines durchschnittlichen Eintrages von $200 \text{ kg N/ha} \times \text{Jahr}$ errechnet sich aus der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche (1992: 16,858 Mio. ha; BML, 1993 b) ein Gesamt-N-Eintrag im Bereich der Landwirtschaft von 3,37 Mio. t N. Unter der Annahme obengenannter Emissionsfaktoren für N_2O von 0,4 bis 3,2 % ergeben sich jährliche Emissionsraten von 0,8 bis 6,4 kg N_2O -N/ha bzw. eine Gesamtemission in Höhe von 13 480 bis 107 840 t N_2O -N durch die Landwirtschaft in Deutschland. Diese Gesamtemission liegt etwa 40 % über der Freisetzung, die allein aufgrund der Mineraldüngung ermittelt wurde (9 700 bis 77 000 t N_2O -N/Jahr). Dies führte zu einer erheblichen Unterschätzung des landwirtschaftlichen Anteils an der globalen N_2O -Freisetzung und belegt die Notwendigkeit einer Erweiterung des bisher verfolgten Ansatzes.

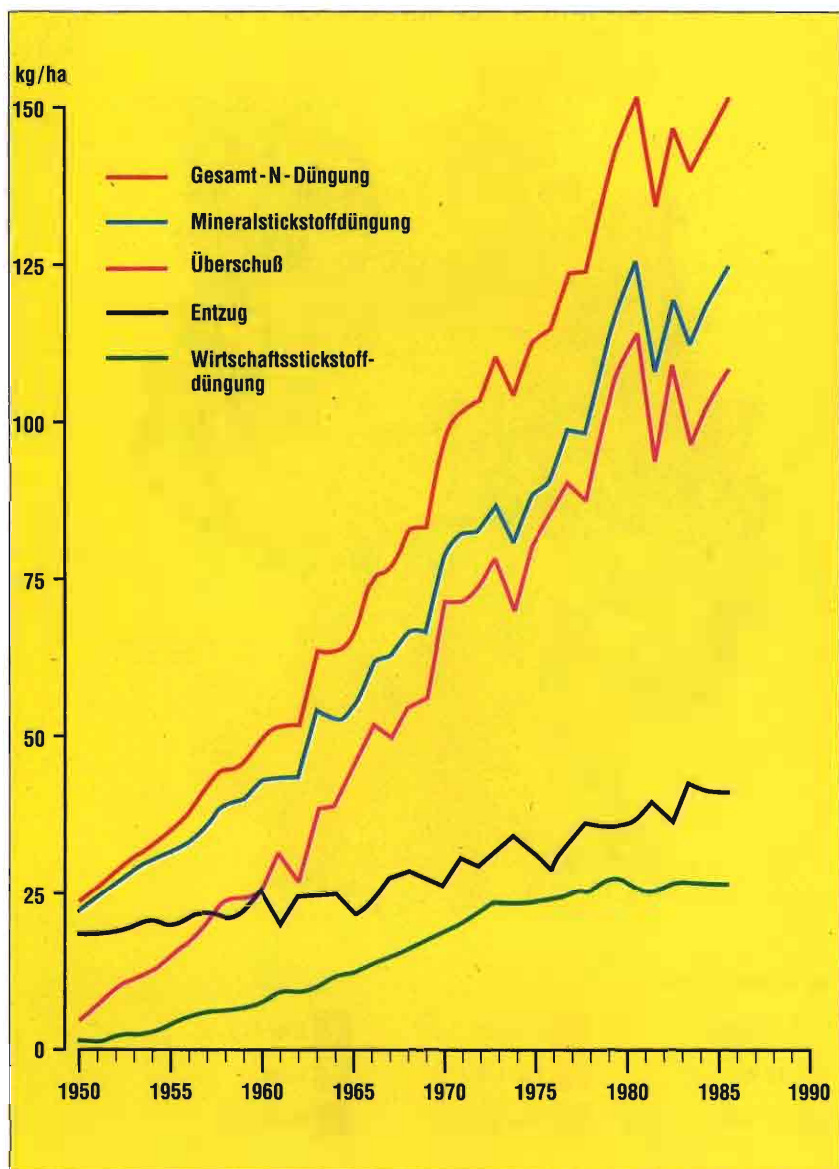


Abbildung 2.11: Entwicklung des Stickstoffeinsatzes und der Stickstoffüberschüsse auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen in der Bundesrepublik Deutschland (1950 bis 1986) (Köster u. a., 1988, In: Nicklis, 1991).

Nationale Bilanz

K1 Bach, (BRD)

K2 Krüll, (BRD)

K3 Köster et al. (BRD)

K4 Nolte und Werner, (DDR)

K5 Bufe, (DDR)

K6 Isermann und Sturm, (BRD)

VK Vergleichsgruppe konventioneller
Landbau (Haupterwerbsbetriebe)

VÖ Vergleichsgruppe Ökologischer
Landbau, eigene Berechnung
(nach Flächenanteilen
Agrarbericht 1993)

Ö1 Bilanzierungen von 7 Praxis-
betrieben, keine Differenzierung
zwischen N-fix und N-Futter
(Hege und Weigelt 1991)

Ö2 nach Nolte (1989)

„Boschheide Hof“

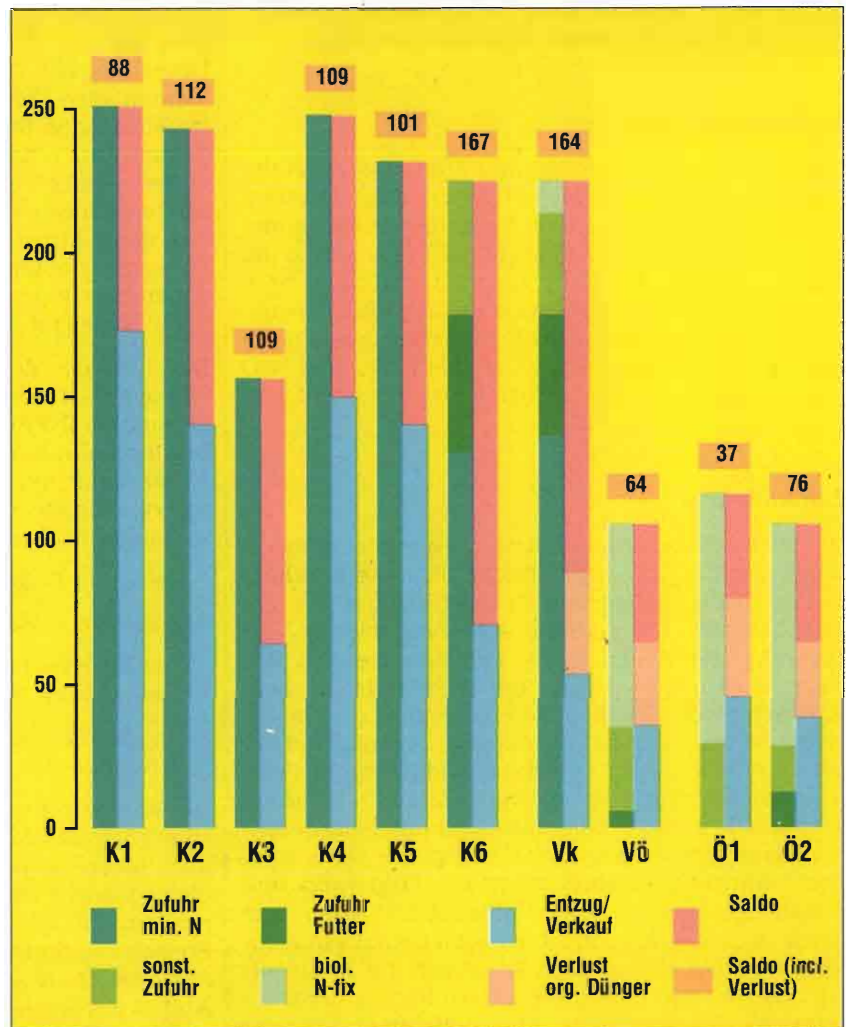


Abbildung 2.12: Vergleich der Stickstoffbilanzen bei konventioneller und ökologischer Landbewirtschaftung (verschiedene Quellen; In: Haas und Köpke, 1994).

Verschiedene Untersuchungen weisen für die konventionell bewirtschafteten Betriebe in Deutschland einen Eintrag von durchschnittlich 125 kg N/ha in mineralischer Form und 88 kg N/ha aus organischen Düngern aus. Die Bilanzierung der Stickstoffaufwendungen und -entzüge ergibt N-Überschüsse in Höhe von 88 bis 167 kg N/ha x Jahr. Die Berechnungen für ökologische Vergleichsbetriebe ergeben bei Einträgen um 100 kg N/ha x Jahr Bilanzüberschüsse von 37 bis 76 kg N/ha (Abb. 2.12). Die Ursachen für die wesentlich niedrigeren N-Bilanzüberschüsse und die entsprechend geringeren N₂O-Emissionen im ökologischen Landbau liegen im Verbot mineralischer N-Dünger, in der flächengebundenen Tierhaltung mit erheblich niedrigeren Tierbesatzdichten und dem limitierten Futtermittelzukauf (Haas u. Köpke, 1994).

Der derzeitige rückläufige Einsatz von Stickstoffdüngemitteln ist zwar sehr erfreulich, kann aber die erheblichen Bilanzüberschüsse bei weitem nicht ausreichend senken. Um dem Entzug durch die Pflanzen

gerecht zu werden, müßte eine weitere Reduzierung der Düngung auf mindestens die Hälfte des derzeitigen Einsatzes erfolgen.

2.2.3.2 Biomasseverbrennung

Bei der Verbrennung von Biomasse (Pyro-Denitrifikation) entstehen ebenfalls N₂-, NO_x- und N₂O-Emissionen. Diese Quelle spielt besonders in Afrika und in Südamerika eine wichtige Rolle, wo Brandrodung und Savannenbrände eine übliche Form der Landbewirtschaftung darstellen und Holz ein wichtiger Energieträger ist. Die Freisetzung stickstoffhaltiger Spurengase aus der Biomasseverbrennung wird global auf 15 bis 46 Mio. t N/Jahr geschätzt. Der Anteil des N₂O beträgt 0,2 bis 1,0 Mio. t N₂O-N/Jahr (IPCC, 1992).

Die Biomasseverbrennung kann aber auch in anderen Regionen der Welt an Bedeutung gewinnen, wenn im Zuge der Erzeugung nachwachsender Energieträger die Verbrennung von Biomasse zunimmt.

2.2.3.3 Indirekte Einflüsse der Landwirtschaft auf die Distickstoffoxidemissionen aus anderen Ökosystemen

Bodenversauerung

Die Deposition stickstoffhaltiger Spurengase aus der Landwirtschaft (vor allem NH_3 , aber auch NO_x) trägt in Deutschland (neben dem Verkehrs- und Energiesektor) etwa zu einem Drittel zu der Versauerung der Böden bei (Abschnitt C, Kap. 3.5.3) (BMU, 1994; Isermann, 1994). Infolgedessen können durch chemische Reaktionen des Nitrits (NO_2^-) oder der salpetrigen Säure (HNO_2) im Boden ebenfalls NO und N_2O gebildet werden. Diese Vorgänge bezeichnet man als Chemo-Denitrifikation.

Eutrophierung

Der Stickstoff- und Phosphateintrag aus der Landwirtschaft in außerlandwirtschaftliche Ökosysteme erhöht auch dort die Freisetzung stickstoffhaltiger Spurengase. Daneben führt die Eutrophierung und die Versauerung der Böden durch die Verschiebung des Nährstoffgleichgewichtes, die verstärkte Auswaschung basisch wirkender Nährstoffionen, die Freisetzung von toxischen Schwermetallionen aufgrund der pH-Wert-Absenkung und die Schädigung der Feinwurzelsysteme und der Mykorrhiza zur Minderung der Vitalität und einer direkten Schädigung insbesondere natürlicher/naturnaher Ökosysteme. Der einseitige Nährstoffüberschuß führt zur Förderung und Zunahme einzelner stickstoffliebender Arten und damit zu einer Änderung der Vegetationszusammensetzung, einer allgemeinen Reduktion der Artenvielfalt und zur Destabilisierung nährstofflimitierter Ökosysteme. Der überhöhte Stickstoffeintrag aus der Atmosphäre untergräbt damit alle bisherigen Maßnahmen zum Schutz gerade nährstoffarmer und zugleich artenreicher Standorte.

2.3 Kohlendioxid (CO_2)

Die Landwirtschaft trägt vor allem durch die Landnutzungsänderungen zur CO_2 -Freisetzung bei. Erhebliche Kohlenstoffmengen sind weltweit in den Böden und der darauf wachsenden Biomasse gespeichert (Abschnitt A, Abb. 1.2). Durch die Vernichtung vor allem tropischer Wälder, durch die Brandrodung und Rodung sowie die nachfolgende landwirtschaftliche Nutzung der ehemals bewaldeten Flächen mit einsetzendem Humusabbau und Bodenerosion werden erhebliche Mengen an CO_2 und anderen klimarelevanten Spurengasen emittiert. Darüber hinaus ist die Landwirtschaft durch die zunehmende Technisierung und den wachsenden Einsatz von energieintensiven Vorleistungen (Treibstoff, Maschinen, Mineraldünger, Futtermittelimporte) vor allem in den Industrieländern an dem Verbrauch fossiler Energieträger (Kohle, Erdöl, Erdgas) beteiligt.

2.3.1 Kohlendioxidkreislauf

Das atmosphärische Kohlendioxid ist in einen globalen geo- bzw. biochemischen Kohlenstoffkreislauf

eingebunden (Abschnitt A, Abb. 1.2). Pflanzen nehmen bei der Photosynthese Kohlendioxid aus der Umgebungsluft auf. Mit Hilfe von Sonnenenergie werden aus Kohlendioxid und Wasser organische Verbindungen und kohlenstoffhaltige Biomasse aufgebaut. Durch den nachfolgenden Abbau dieser Biomasse bei der Veratmung durch Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen wird der Kohlenstoff wieder als CO_2 in die Atmosphäre abgegeben. Anteile des in der Biomasse gebundenen Kohlenstoffs werden unter anaeroben Bedingungen auch mikrobiell zu Methan (CH_4) abgebaut (Kap. 2.1.1).

Das Ergebnis der Nettoaufnahme von atmosphärischem CO_2 durch die Pflanzen wird als Nettoprimärproduktion (NPP) bezeichnet. Sie ergibt sich aus der Bruttoprimärproduktion abzüglich der Respiration der Pflanzen (Licht- und Dunkelatmung). Der bei der NPP fixierte Kohlenstoff wird mit unterschiedlicher Verweildauer in Form

- lebender Biomasse (Pflanzen),
- toter Biomasse (Bestandsabfall),
- organisch gebundenen Kohlenstoffs in Böden bzw. Sedimenten (Humus, Torf etc.),
- in der Biomasse der Konsumenten (Menschen, Tiere) gespeichert.

Die Kohlenstoffspeicher sind saisonalen und langfristigen Veränderungen unterworfen. Bei Betrachtung über einen längeren Zeitraum stellt sich ein Fließgleichgewicht zwischen der CO_2 -Senke (CO_2 -Fixierung durch die NPP) und der CO_2 -Quelle (CO_2 -Freisetzung durch die Respiration) ein. Die Größe der Speicher bleibt unverändert, solange sich Zu- und Abfluß des Kohlenstoffs ausgleichen. Verändert sich aber der Umfang der CO_2 -Fixierung oder der CO_2 -Freisetzung, so verändert sich der Kohlenstoffgehalt der Speicher.

Langfristige Änderungen der NPP bzw. der Kohlenstoffspeicherung in der terrestrischen Biosphäre werden verursacht durch (Esser, 1994):

- Landnutzungsänderungen, Inkulturnahme natürlicher oder naturnaher Flächen, Flächenstillegung, Wiederaufforstung;
- Änderungen der Anbausysteme, Extensivierung, Intensivierung;
- Änderungen des chemischen und physikalischen Klimas;
- Änderungen der CO_2 -Konzentration der Atmosphäre;

2.3.2 Landnutzungsänderungen

Unter Landnutzungsänderung ist hier die zeitweise oder dauerhafte Inkulturnahme natürlicher oder naturnaher Flächen zu verstehen. Die ursprüngliche Vegetation wird dabei weitgehend oder vollständig verdrängt, die ehemals vorhandenen Wälder werden vernichtet. Der Prozeß der Landnahme begann mit der landwirtschaftlichen Aktivität des Menschen im Frühneolithikum. In zunehmendem Umfang rodete der

Mensch Wälder, um freie Flächen für Äcker und Weiden zu schaffen. Das Holz nutzte er als Brennmaterial und zum Bau seiner Häuser und Stallungen. In den vergangenen Jahrzehnten bis zur Gegenwart erfolgte die Landnutzungsänderung überwiegend durch die Brandrodung tropischer Wälder.

2.3.2.1 Ausmaß der Landnutzungsänderungen

Vor 10 000 Jahren war die Landoberfläche der Erde etwa zur Hälfte (6,2 Mrd. ha) mit Wäldern bedeckt, drei Viertel hiervon waren geschlossene Wälder (4,7 Mrd. ha). Heute existieren noch schätzungsweise 2,8 Mrd. ha geschlossene und 1,2 Mrd. ha offene Wälder (FAO, 1992).

Tabelle 2.22

Verteilung der Landflächen der Erde (in Mrd. ha) während der vergangenen 10 000 Jahre (FAO, 1992; Heinloth, 1993¹⁾)

Eisfreie Landfläche der Erde	13,08
Waldfläche zu Beginn der Warmzeit	6,20
— geschlossener Wald	4,68
— offener Wald	1,52
Waldfläche heute	4,08
— geschlossener Wald	2,83
— offener Wald	1,24
Landwirtschaftliche Fläche heute ...	4,69
— Ackerland	1,47
— Dauergrünland	3,22
Eisflächen und Wüsten	3,5 ¹⁾
Siedlungs- und Verkehrsflächen	0,6 ¹⁾

Als erste Folge von Rodungen und Überweidungen, begleitet von klimatischen Veränderungen, setzte bereits vor etwa 6000 Jahren im Mittleren Osten und im Gebiet der heutigen Sahara die Desertifikation (Wüstenbildung) ehemals fruchtbarer Landstriche ein (Flohn, 1980; Krause u. a., 1992). Weite Teile der ursprünglichen Laub- und Misch-Urwälder, die bis in das frühe Mittelalter hinein Mitteleuropa zu drei Vierteln bedeckt hatten, fielen überwiegend im 11. bis 14. Jahrhundert der Ausdehnung der Besiedlung und der Landwirtschaft, in den folgenden Jahrhunderten auch dem Schiffsbau und der Industrialisierung (Berg-

bau, Holzkohlegewinnung, Verhüttung etc.) zum Opfer. Im ausgehenden Mittelalter waren selbst große Teile der heutigen Waldgebiete vollkommen kahlgeschlagen. In den gemäßigten Breiten gibt es daher nur noch Reste einer ursprünglichen, vom Menschen unbeeinflussten Vegetation. Erst im Laufe des 19. Jahrhunderts kam es in Mitteleuropa zu einer auf „Nachhaltigkeit“ ausgerichteten Forstwirtschaft mit einer planvollen (Wieder-)Aufforstung der heutigen Wirtschaftswälder, die jedoch auch für die großflächigen Fichtenmonokulturen verantwortlich ist. In Kanada und den USA erfolgte die Inkulturnahme neuer Landwirtschaftsflächen im wesentlichen zwischen 1860 und 1930 (Haider, 1993) (Abb. 2.13). (Zur Entwicklung der Wälder in den gemäßigten und borealen Breiten siehe Abschnitt C).

Durch die Zunahme der landwirtschaftlichen Produktivität in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts stabilisierte sich in Mitteleuropa der Anteil der Waldfläche. Durch die Intensivierung und den Produktivitätszuwachs in der Landwirtschaft werden bei gleichbleibender Bevölkerung mittlerweile sogar erhebliche Überschüsse erwirtschaftet, die eine Stilllegung und Aufforstung ehemals bewirtschafteter Flächen ermöglichen (Tab. 2.23 u. 2.24).

In Lateinamerika, Afrika und Teilen Asiens wurde bzw. wird dagegen bei anhaltendem Bevölkerungswachstum die landwirtschaftliche Nutzfläche durch die Rodung der tropischen Wälder ständig weiter ausgedehnt. Die Ausweitung der landwirtschaftlichen Nutzflächen ist zu etwa 90 % für die derzeitige Vernichtung der tropischen Regenwälder verantwortlich (Amelung u. Diehl, 1991).

Tabelle 2.23

Entwicklung der landwirtschaftlichen Nutzfläche und Waldfläche (in 1 000 ha) in Deutschland (Alte Bundesländer) (Verschiedene Jahrbücher des Statistischen Bundesamtes)

Jahr	Landwirtschaftliche Nutzfläche	Waldfläche
1935/1938	14 612	6 952
1957/1961	14 255	7 062
1968	13 871	7 184
1972	13 480	7 196
1976	13 270	7 165
1981	12 197	7 328
1985	12 019	7 360
1990	11 867	7 401

Tabelle 2.24

Veränderung der Ackerfläche in einzelnen Ländern und verschiedenen Regionen der Erde
(Bouwman u. a., 1991)

Staat/Region	Ackerfläche und Dauerkulturen (ohne Grünland/Weiden) (in 1000 Hektar)			
	1960	1980	1990	Jährliche Änderung in Prozent (1960 bis 1990)
Deutschland (Alte Bundesländer)	8 503	7 496	7 466	-0,4
Deutschland (DDR/Neue Bundesländer) . . .	5 090	5 034	4 924	-0,1
Deutschland (Gesamt)	13 593	12 530	12 390	-0,3
Belgien	935	838	820	-0,4
Dänemark	2 817	2 653	2 568	-0,3
Frankreich	21 405	18 643	19 547	-0,3
Griechenland	3 701	3 925	3 929	+0,2
Großbritannien	7 266	7 012	6 988	-0,1
Irland	1 362	972	963	-1,0
Italien	15 608	12 436	12 149	-0,7
Niederlande	1 027	860	931	-0,3
Portugal	4 130	3 550	2 750	-1,1
Spanien	20 730	20 499	20 380	-0,1
EU (Gesamt)	92 600	83 900	83 400	-0,3
OECD (ohne EU)	34 500	36 700	35 900	+0,1
GUS	228 600	232 000	232 400	+0,1
restliches Europa	51 100	48 700	48 500	-0,2
Nordamerika	226 800	235 800	235 900	+0,1
Lateinamerika	107 200	171 900	179 800	+2,3
Afrika	k. A.	181 100	186 600	k. A.
Mittlerer Osten	43 100	36 700	37 800	-0,4
Japan/Ozeanien	36 600	49 200	53 000	+1,5
Süd-/Ostasien	252 700	269 300	272 000	+0,3
Zentralverwaltung Asien	115 800	113 500	110 000	-0,2
Welt	1434 000	1460 000	1475 000	+0,1

Während die LN zwischen 1900 und 1980 in Europa um 6 % abnahm, hat sie sich im gleichen Zeitraum weltweit verdoppelt, im tropischen Afrika verdreifacht und in Südostasien sogar vervierfacht (EK, 1990 a). Seit etwa 1930 werden aus den tropischen Waldgebieten Südamerikas, Afrikas und Asiens erhebliche Mengen an Kohlendioxid durch Brandrodungen und Landnutzungsänderungen freigesetzt.

Durch die weltweit zunehmenden Rodungsaktivitäten nahmen die Waldbestände der Erde seit 1860 um etwa ein Viertel ab.

Von den ursprünglich vorhandenen immergrünen und wechselgrünen Feuchtwäldern der Tropen sind bis heute schätzungsweise 800 Mio. ha in landwirtschaftliche Nutzflächen umgewandelt worden. Davon

Tabelle 2.25

Weltweite Veränderung der Flächenanteile
von landwirtschaftlichen Nutzflächen und Wäldern
in den vergangenen 100 Jahren
(in Mio. ha) (FAO, 1991)

	Stand 1882	Stand 1991	Veränderung	
			in Mio. ha	in Prozent
Ackerland	860	1 470	610	+ 71
Dauergrünland . . .	1 500	3 220	1 720	+115
Wald	5 200	4 080	1 120	- 22

wurden 350 Mio. ha zu Weideflächen und weitere 300 Mio. ha fielen erstmals dem Wanderfeldbau zum Opfer. Auf weiten Teilen der gerodeten Flächen sind die Böden rasch so erheblich geschädigt, daß sie landwirtschaftlich nicht mehr genutzt werden können und daher ständig neue Flächen gerodet werden müssen (EK, 1990 a). Zwischen 1980 und 1990 wurden jährlich durchschnittlich 15,4 Mio. ha gerodet. 1980 betrug die tropische Waldfläche etwa 1 910 Mio. ha, 1990 schätzte man die Restfläche der tropischen Wälder weltweit auf etwa 1 756 Mio. ha (Lateinamerika: 920 Mio. ha; Afrika: 530 Mio. ha; Asien: 310 Mio. ha) (FAO, 1993). Der Einfluß der Landnutzungsänderungen und der Landwirtschaft auf die Brandrodung der Tropenwälder ist ausführlich im zweiten Bericht „Schutz der tropischen Wälder“ der Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erd-

atmosphäre“ aus dem Jahr 1990 dargestellt (EK, 1990 a).

Bei der Umwandlung von natürlicher Vegetation in landwirtschaftliche Nutzflächen (LN) sind seit 1850 schätzungsweise 80 bis 150 Mrd. t CO₂-Kohlenstoff aus Biomasse und Böden freigesetzt worden (IPCC, 1990 a). Die bestehenden Unsicherheiten gehen aus der Bandbreite der publizierten Schätzungen hervor, die von 56 Mrd.t CO₂-C (Richards u. a., 1983, In: Esser, 1994) bis zu 225 Mrd.t CO₂-C (Woodwell u. a., 1983, In: Esser, 1994) reichen. Im Vergleich hierzu wurden im selben Zeitraum durch die Verbrennung fossiler Energieträger etwa 150 bis 190 Mrd.t CO₂-Kohlenstoff in die Atmosphäre abgegeben (Rotty, 1987). Die Waldrodungen und Landnutzungsänderungen sind daher für ein Drittel bis die Hälfte des Anstiegs der

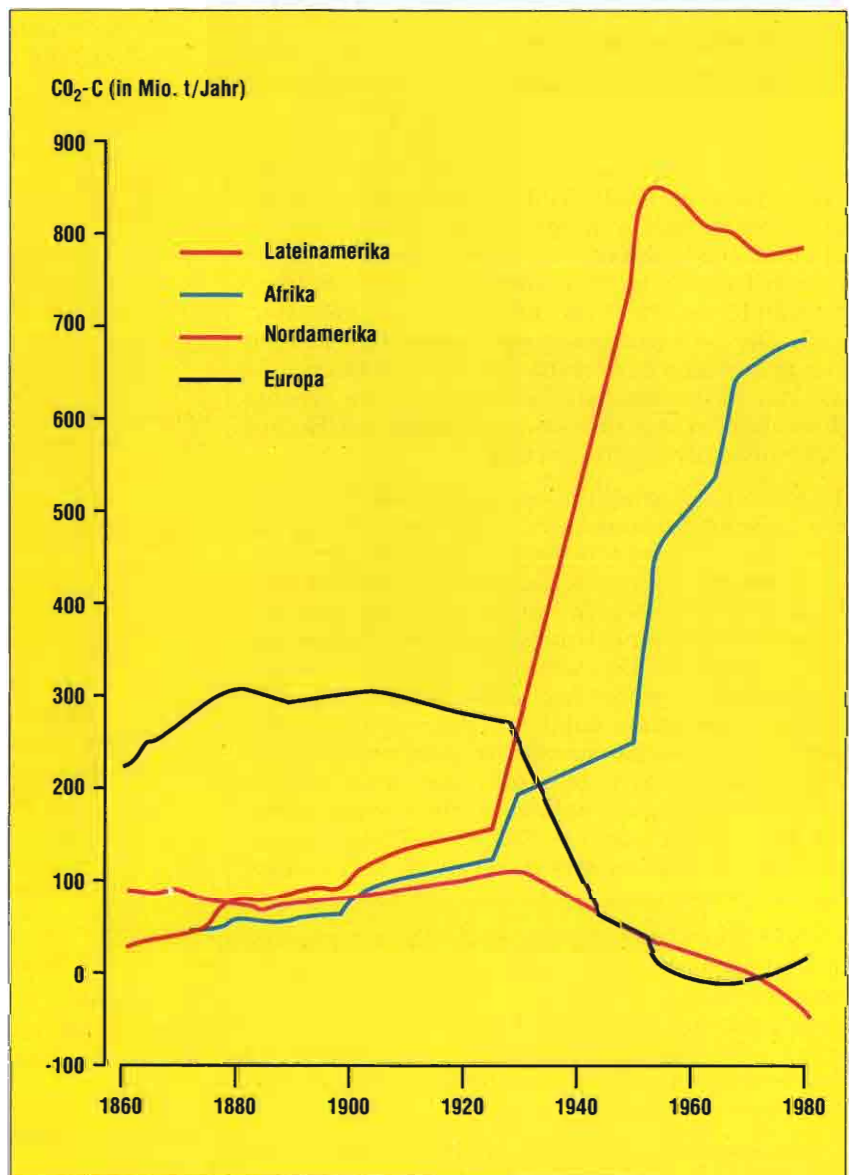


Abbildung 2.13: CO₂-Kohlenstofffreisetzung in die Atmosphäre durch Landnutzungsänderungen in Lateinamerika, Afrika, Nordamerika und Europa zwischen 1860 und 1980 (in Mio. t CO₂-C) (Houghton u. a., 1983).

atmosphärischen CO₂-Konzentration verantwortlich, der seit Beginn der Industrialisierung vom Menschen verursacht wurde (Abschnitt A, Tab. 1.3).

Neben den umfangreichen Brandrodungen in den tropischen Wäldern kommt es in weiten Bereichen der tropischen und subtropischen Savannengebiete zu regelmäßigen Bewirtschaftungsbränden. Alle ein bis drei Jahre wird der Aufwuchs abgebrannt, um die natürliche Regeneration der Weideflächen zu fördern. Hiervon ist eine Fläche von etwa 2,6 Mrd. ha betroffen (etwa 1 Mrd. ha/Jahr). Teilweise hatten und haben diese Savannenbrände auch natürliche Ursachen. Das Abbrennen der Vegetation hat nur dann Auswirkungen auf den globalen Kohlenstoffhaushalt, wenn sich die Häufigkeit und Intensität durch menschliche Eingriffe verändert hat oder zukünftig verändern wird (Esser, 1994). Darüber hinaus werden insbesondere in den Tropen erhebliche Mengen an Holz, Tierdung und landwirtschaftlichen Ernteresten (Reisstroh etc.) zur Energiegewinnung verbrannt.

2.3.2.2 Kohlendioxidemissionen

Durch die Umwandlung natürlicher Waldbestände in landwirtschaftlich genutzte Flächen wird der pro Flächeneinheit ober- und unterirdisch gespeicherte Kohlenstoff um den Faktor 20 bis 100 reduziert (Houghton u. a., 1983). Wird ein Quadratmeter tropischen Regenwaldes gerodet und durch landwirtschaftliche Kulturen ersetzt, verringert sich der in der lebenden und toten Biomasse gespeicherte Kohlenstoff von 15 bis 20 kg C/m² auf unter 1 kg C/m² (Esser, 1990). Der Differenzbetrag wird durch Verbrennung oder mikrobielle Zersetzung der gerodeten Biomasse und des Bestandesabfalls sowie durch die erhöhte Mineralisation des im Boden vorhandenen Humus vorwiegend als CO₂ freigesetzt.

Die Netto-Kohlenstofffreisetzung durch Brandrodung und Savannenbrände ist abhängig von der Menge des ober- und unterirdisch gespeicherten Kohlenstoffs, der Schwere des menschlichen Eingriffs und dem Ausmaß der CO₂-Kohlenstoffixierung durch eine verbleibende oder erneut aufwachsende Folgevegetation. Je nach Art der Sekundärvegetation wird ein unterschiedlich großer Anteil des freigesetzten CO₂ wieder in Biomasse gebunden. In Savannen wächst im Gegensatz zu den Tropenwäldern meist eine mengenmäßig vergleichbare Pflanzenmasse rasch wieder nach und bindet große Anteile des zuvor freigewordenen CO₂. Daher sind die Netto-CO₂-Emissionen je Flächeneinheit dort weit geringer als bei der Brandrodung der Regenwälder (Hao u. a., 1989).

Die NPP landwirtschaftlicher Kulturen liegt generell unter derjenigen der potentiellen natürlichen Vegetation des jeweiligen Standortes. In den Entwicklungsländern werden im allgemeinen nur 10 bis 20 % der natürlichen Produktivität erreicht. Die Gründe für diese Reduktion sind in der Reihenfolge ihrer Bedeutung (Esser, 1994):

- Unterbrechung des Mineralstoffkreislaufs Pflanzen-Boden durch den Verlust der Bestandesabfallauflage, das Abbrennen der Vegetation und des Bestandsabfalls und die verstärkte Mineralstoffauswaschung;

- Entnahme von Erntegut, Schädlingsbefall und andere Phytomasseverluste an Konsumenten;
- Einfache Bestandesstruktur, geringere Licht-, Wasser- und Nährstoffabsorption, späterer Bestandes-schluß;
- Geringere Anpassungsfähigkeit und höhere Anfälligkeit landwirtschaftlicher (Mono-)Kulturen gegenüber Wetterextremen, Krankheiten und Schädlingen.

Die höhere NPP der potentiellen natürlichen Vegetation kann in landwirtschaftlichen Kulturen nur bei Anwendung hoher Düngermengen und intensivem Pestizideinsatz erreicht werden. Die großflächige Umwandlung natürlicher Vegetation in landwirtschaftlich genutzte Flächen hat somit schwerwiegende Konsequenzen für den Kohlenstoffhaushalt:

- Der Umwandlungsprozeß setzt direkt erhebliche Mengen an CO₂ frei, insbesondere bei der heute überwiegend angewandten Brandrodung.
- Die reduzierte NPP vermindert die CO₂-Kohlenstoffbindung in der pflanzlichen Biomasse.
- Die verringerte Biomasseproduktion reduziert die Zufuhr in die Kohlenstoffspeicher Bestandesabfall und Humus. Zusätzlich werden der Humusabbau und die Bodenerosion/-degradation durch die Landnutzung verstärkt.
- Mit den Erntegütern wird die gebildete Biomasse teilweise dem System entnommen und den Kohlenstoffspeichern entzogen.

Die Brandrodungen und Savannenbrände in den tropischen Ländern setzen den in der Biomasse enthaltenen Kohlenstoff nicht nur als CO₂, sondern auch als Kohlenmonoxid (CO) oder Methan (CH₄) frei. Stickstoff wird vorwiegend in Form von Stickstoffoxiden (NO_x) und Distickstoffoxid (N₂O) an die Atmosphäre abgegeben.

Tabelle 2.26

Anteile verschiedener Biomasseverbrennungsprozesse an der Netto-Freisetzung von kohlenstoff- und stickstoffhaltigen Gasen in den Tropen (in Mio. t/Jahr) (IPCC, 1992)

Verbrennungsprozeß	Kohlenstoff-emission in Mio. t C/Jahr	Stickstoff-emission in Mio. t N/Jahr
Wanderfeldbau	500—1 000	5 —10
Dauerhafte Entwaldung	200— 700	2 — 7
Savannenbrände	300—1 600	2 —10
Brennholz	300— 600	1,5— 3
Landwirtschaftliche Abfälle ¹⁾	500— 800	5 —16
Summe	1 800—4 700	15 —46

¹⁾ = Ernteabfälle (Stroh etc.), getrockneter Tierdung etc.

**Netto-Freisetzung von kohlenstoff- und stickstoffhaltigen Gasen
bei verschiedenen Biomasseverbrennungsprozessen¹⁾ in den Tropen (in Mio. t/Jahr)
(Bouwman u. a., 1991)**

Region	Emissionen in Mio. t					
	CO ₂ ²⁾	CO ₂ ³⁾	CH ₄	CO	NO _x	N ₂ O
Lateinamerika	461	585	15	125	1,1	0,1
Afrika	354	1 403	25	211	1,6	0,1
Mittlerer Osten	1	9	0	1	0	0
Zentralverwaltung Asien ..	47	21	1	8	0,1	0
Süd-/Südostasien	125	30	2	19	0,2	0
Summe	987	2 047	44	364	3,0	0,2

¹⁾ einschließlich 20 Prozent aus der Verbrennung landwirtschaftlicher Abfälle

²⁾ aus der Brandrodung

³⁾ aus Savannenbränden

Die Angaben beinhalten auch die Freisetzung von Spurengasen aus der Mineralisation und Vergärung (Verrottung) organischer Substanz auf und in den Böden. Nach IPCC (1992) wird die derzeitige globale CO₂-Freisetzung durch Landnutzungsänderungen auf $1,6 \pm 1,0$ Mrd. t C/Jahr geschätzt. Die Unsicherheiten, die diese Schätzung beinhaltet, werden auch durch die Bandbreite anderer Schätzungen verdeutlicht (Tab. 2.26 und 2.27).

2.3.3 Degradation der Böden

Neben der Verbrennung hat auch die anschließende Mineralisierung unverbrannter kohlenstoffhaltiger Biomasse und organischer Substanz der Böden erheblichen Anteil an der Freisetzung von Spurengasen. Die landwirtschaftliche Nutzung der Flächen führt im allgemeinen zu einer niedrigeren NPP und einer geringeren C-Nachlieferung bzw. C-Speicherung in den Böden. Die Bearbeitung und Durchlüftung der Böden verstärkt den Humusabbau. Die Erosion des freiliegenden Bodens führt zu weiteren Kohlenstoffverlusten durch den Verlust C-haltigen Bodenmaterials. Die Degradation der Böden durch Erosion, Versalzung, Versauerung etc. verringert zusätzlich die NPP und damit die C-Senke im pflanzlichen Aufwuchs und in den Böden selbst.

2.3.3.1 Humusabbau, Bodenerosion und Bodendegradation

Global sind in der organischen Substanz der Böden etwa 1 500 bis 1 800 Mrd. t C gespeichert. Die organische Substanz hat zahlreiche positive Wirkungen und bestimmt in hohem Maße die physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften eines Bodens und damit das gesamte Bodenleben. Die organische Substanz hat einen hohen Nährstoffgehalt. Die Mineralisierung des als Nährhumus bezeich-

neten, leichter abbaubaren Anteils der organischen Substanz liefert kontinuierlich pflanzenverfügbare Nährstoffe. Die organische Substanz hat ein hohes Absorptionsvermögen (Bindungsvermögen) für Nährstoffe und verringert daher die Nährstoffverluste durch Auswaschung. Die organische Substanz verbessert die Bodenstabilität (Aggregatstabilität) und somit die Durchlüftung und Sauerstoffversorgung des Bodens. Dies regt die Tätigkeit von Mikroorganismen an und verbessert das Bodenleben und das chemische Milieu des Bodens. Die höhere Bodenstabilität vermindert die Erosionsanfälligkeit des Bodens. Darüber hinaus besitzt die organische Substanz eine hohe Wasserkapazität und vermag das Drei- bis Fünffache ihres Eigengewichtes an Wasser zu speichern.

Humusabbau

Der Humusgehalt der Böden nimmt durch nahezu jede Form der landwirtschaftlichen Bearbeitung und Nutzung ab. Gleichzeitig wird in Agrarökosystemen die Nachlieferung von organischer Substanz durch die niedrigere NPP und den teilweisen Biomasse-Entzug durch die Ernte und andere Konsumenten verringert. Deshalb liegt der Humusgehalt bewirtschafteter Böden nahezu ausnahmslos unter dem der ursprünglichen Vegetation. Organische Substanz wird dem Boden in Form von Wurzeln, Ernterückständen, abgestorbenen Pflanzenteilen (Bestandsabfall) und Bodenlebewesen sowie durch organische Düngung zugeführt. Der Humusgehalt des Bodens spiegelt den Einfluß des Nutzungssystems und aller anderen ökologischen Standortbedingungen wider (Scheffer und Schachtschabel, 1989). Unter gleichbleibenden Umweltbedingungen stellt sich nach einer Landnutzungsänderung langfristig ein neues Gleichgewicht zwischen Abbau und Nachlieferung und somit ein charakteristischer niedrigerer Gehalt an organischer Substanz ein. Dies gilt für die meisten landwirtschaftlich genutzten Böden der gemäßigten Breiten, die bereits seit Jahrhunderten in Nutzung sind.

Die Umwandlung von Waldböden in dauerhaft ackerbaulich genutzte Flächen vermindert deren Bodenkohlenstoffgehalt um etwa 40 %, die Umwandlung in Weideflächen um etwa 20 %. Wanderfeldbau verursacht einen Rückgang des Bodenkohlenstoffgehaltes um 18 bis 27 % (Detwiler u. Hall, 1988). Bei einer derzeitigen landwirtschaftlichen Nutzfläche von 1,5 Mrd. ha entspricht der Verlust an humusgebundenem Kohlenstoff seit Mitte des 19. Jahrhunderts weltweit 40 bis 80 Mrd. t C bzw. 5 bis 10 % des gegenwärtigen atmosphärischen CO₂-Kohlenstoffs (Bouwman, 1990; Haider, 1992). Die Kohlenstofffreisetzung in Form von CO₂ durch den Humusabbau kann nur grob geschätzt werden, da die regionale Verteilung der ursprünglichen Humusgehalte und die Anteile leichter bzw. schwerer abbaubarer Humusfraktionen ungenügend bekannt sind.

Humusregeneration

Großflächige Landnutzungsänderungen finden derzeit im wesentlichen in den Tropen und Subtropen statt. In den gemäßigten Breiten liegt der Umfang der Inkulturnahme neuer Flächen durch Grünlandumbruch, Rodung, Entwässerung und Bearbeitung von Moorböden etc. unter der gleichzeitigen Flächenstilllegung. Die Flächenstilllegung und Wiederaufforstung führt jedoch nur sehr langsam zu einer Humusanreicherung in den Böden. Bei einer Wiederaufforstung vorher intensiv genutzter Böden kann es während der ersten Jahrzehnte sogar zu einem weiteren Abfall des Bodenkohlenstoffgehaltes kommen (Esser, 1994). Die jährliche C-Anreicherung beträgt in Tundren, Wäldern der gemäßigten Breiten und der Tropen, Graslandböden u. a. etwa 2 bis 2,5 g C/m² x Jahr. Global werden jährlich etwa 0,4 Mrd. t C als Bodenhumus festgelegt. Dies entspricht 0,7 bis 0,8 % der jährlichen NPP bzw. 0,02 bis 0,03 % des gesamten im Humus gebundenen Kohlenstoffs. Die Humusbildung ist somit ein sehr langsamer Prozeß. Es dauert im allgemeinen Jahrzehnte oder Jahrhunderte, bis die Böden nach Stilllegung und Aufforstung wieder die ursprünglichen Humusgehalte erreichen, die sie durch Rodung oder Umbruch innerhalb von Jahren und Jahrzehnten verloren haben. Eine rasche und dauerhafte Steigerung des Bodenkohlenstoffgehaltes durch gesteigertes Pflanzenwachstum oder vermehrten Eintrag organischer Rückstände ist daher eher unwahrscheinlich (Schlesinger, 1990).

Gleichwohl unterscheiden bzw. verändern sich die Humusgehalte des Bodens bei unterschiedlicher landwirtschaftlicher Produktionsweise. Obwohl die NPP des ökologischen Landbaus aufgrund der geringeren Intensität (Düngemittel- und Pestizideinsatz) unter der NPP der konventionellen Landwirtschaft liegt, weisen die Böden allgemein einen höheren Gehalt insbesondere an stabilen Humusverbindungen auf. Dies ist auf verschiedene gezielte Maßnahmen des ökologischen Landbaues zum Erhalt bzw. zur Mehrung der organischen Substanz des Bodens zurückzuführen. Die Zufuhr von Stallmist bzw. Kompost hat ein hohes Humusbildungspotential, da in dem Rotteprozeß während der Stallmistlagerung/Kompostierung bereits stabile Humusbestandteile gebildet werden

(Tab. 2.28). Der mehrjährige Feldfutterbau und häufige Zwischenfruchtbau mit hohen Ernte- und Wurzelrückständen und längerer Bodenruhe führt dem Boden erhebliche Mengen organischer Substanz zu. Die ganzjährige Bodenbedeckung (Zwischenfruchtbau) verringert den Humusabbau.

Die Anbausysteme unterscheiden sich hinsichtlich ihres Kohlenstoffbindungsvermögens kaum (Doran, 1992, In: Haas und Köpke, 1994). Die geringere Biomassebildung (NPP) bzw. die geringeren Erträge des ökologischen Landbaus werden durch die vermehrte Bildung stabiler organischer Bodensubstanz ausgeglichen. Dies hat gleichzeitig positive Wirkungen auf das Bodenleben und die Bodenstabilität und verringert die Erosionsanfälligkeit auf ökologisch bewirtschafteten Flächen.

Erosion, Degradation und Desertifikation der Böden

Die Rodung der natürlichen Vegetation und der Humusverlust aufgrund der nachfolgenden Bodenbearbeitung stellen häufig den Beginn der Bodendegradation dar. Die Degradation führt zu einem teilweisen oder vollständigen Verlust der positiven Bodeneigenschaften, des Bodenlebens oder sogar des Bodenmaterials und damit der Produktionsfunktion der Böden. Da jede Form der Bodendegradation die potentielle bzw. tatsächliche NPP verringert, trägt sie auch zu einer Reduzierung der CO₂-Senken in Böden und Biosphäre und somit zu einem CO₂-Anstieg in der Atmosphäre bei. Die Degradation der Böden ist allgemein ein natürlicher Prozeß, der aber in erheblichem Umfang anthropogen verstärkt und beschleunigt wird. Die Ursachen der Bodendegradation liegen weltweit überwiegend in der Landwirtschaft — sowohl in der unaufhaltsamen Rodung und Ausweitung der Nutzflächen in sensible erosions- und degradationsgefährdete Gebiete als auch in der Intensität der Landnutzung.

Die weitaus häufigste Ursache der Bodendegradation ist die Bodenerosion durch Wasser, die direkt von der Bodenbedeckung (Rodung, Kulturart, Fruchtfolge) und Bodenstabilität (Humusgehalt, Bodenbearbeitung) abhängt. Daneben fördern falsches Bewässerungs- und Düngemanagement, Bearbeitungsfehler, Fruchtfolgeverarmung, Versauerung und Pestizideintrag die Degradation der Böden. Des weiteren sind in geringerem Umfang Emissionen und Altlasten aus Industrie, Verkehr und Gewerbe an der Bodendegradation beteiligt.

Die steigende Intensität, Spezialisierung und Fruchtfolgeverarmung in der konventionellen Landwirtschaft reduzieren die Nachlieferung an organischer Substanz, was häufig zur Abnahme des Humusgehaltes der Böden und zur Beschleunigung der Bodenerosion führt. Die Abnahme des mehr- oder überjährigen Zwischenfrucht- und Feldfutterbaus mit Gräsern und Leguminosen führte zum Rückgang der ganzjährigen Bodenbedeckung. Gleichzeitig nahmen stark erosionsfördernde Kulturarten mit später Bodenbedeckung (Mais, Zuckerrüben), insbesondere durch die Ausweitung des Maisanbaus in erosionsgefährdeten Mittelgebirgslagen, stark zu.

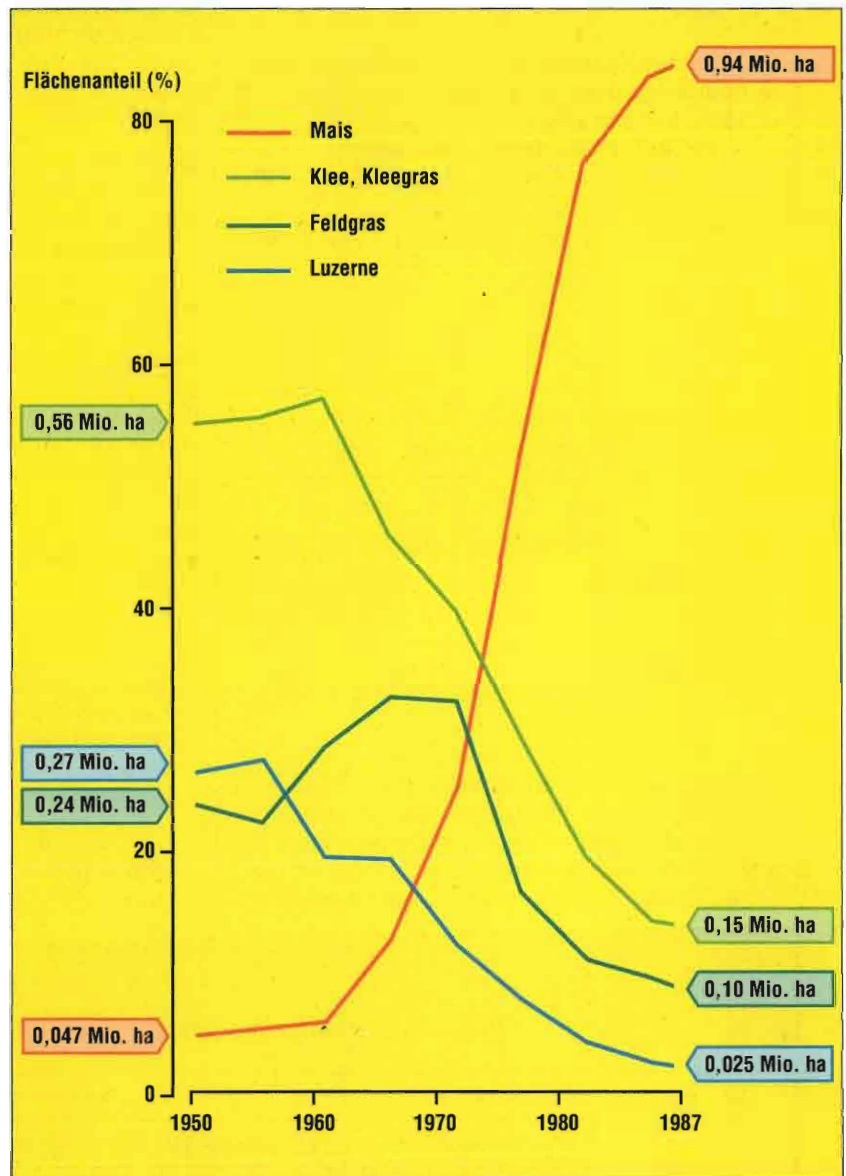


Abbildung 2.14: Veränderung des Anteils von Klee, Klee gras, Luzerne, Gras und Mais an der Ackerfutterfläche Deutschlands von 1950 bis 1989 (Kühbauch, 1993).

Strukturschäden (Fahrspuren, Verdichtungen) durch schwere Maschinen und falsche Bearbeitungszeitpunkte sind häufig die Ausgangspunkte, an denen die Bodenerosion ansetzt. Gemeinsam mit einer zunehmend schlechteren Bodenstruktur durch die intensivierte, den Humusabbau beschleunigende Bodenbearbeitung verstärkte auch die Vergrößerung der Felder im Zuge der Flurbereinigung, die Beseitigung von Hecken, Hangstufen, Gräben, Bäumen, etc. und die Umwandlung von Grünland in Ackerland die Erosionsanfälligkeit landwirtschaftlich genutzter Flächen.

Die zunehmende Spezialisierung und Konzentration in der Tierhaltung bei gleichzeitiger Verdrängung der Kompost- und Stallmistwirtschaft durch die Flüssigmistwirtschaft (Gülle) wirkt ebenfalls negativ auf die

Nachlieferung an organischer Substanz, das Bodenleben und den Humusgehalt der Böden. Eine alleinige mineralische Stickstoffdüngung oder Gölledüngung vermag zwar den Humusgehalt eines Bodens zu stabilisieren, eine Stallmistdüngung führt dagegen zu einem Anstieg des Humusgehaltes und einer Verbesserung der Bodenstabilität. Mit steigender Intensität kann die Mineraldüngung sogar zu einer Abnahme der Bodenkohlenstoffgehalte führen (Haider, 1992; In: Haas u. Köpke, 1994).

Der jährliche Abtrag durch Bodenerosion erreicht in Deutschland Höchstwerte von bis zu 200 t/ha (BINE, 1992). Weltweit werden Höchstwerte der Bodenerosion von bis zu 500 t/ha ermittelt. Die durchschnittlichen Abtragsraten durch Erosion liegen in Deutschland bei etwa 10 Tonnen Bodenmaterial je Hektar und

Tabelle 2.28

Entwicklung des Kohlenstoff- und Stickstoffgehaltes in Böden bei dem Dauerdüngungsversuch des „Ewigen Roggenbaus“ in Halle bei unterschiedlicher Düngung (nach Schmalfuss u. a., 1963; In: Boguslawski, 1981)

Düngung	1878	1929	1949	1953	1958
	in %				
C-Gehalt					
ungedüngt . . .	1,24	1,15	1,12	1,12	1,14
mineral. NPK ¹⁾	1,24	1,24	1,22	1,26	1,26
Stallmist ²⁾	1,24	1,64	1,66	1,68	1,69
N-Gehalt					
ungedüngt	0,095	0,071	0,086	0,085	0,081
mineral. NPK ¹⁾	0,095	0,080	0,095	0,094	0,093
Stallmist ²⁾	0,095	0,109	0,125	0,132	0,135

1) = 40 kg N/90 kg K₂O/56 kg P₂O₅/ha x Jahr
2) = 120 dt/ha x Jahr

Jahr. Die mittlere Bodenneubildungsrate beträgt in Abhängigkeit vom geologischen Ausgangsgestein und den klimatischen Bedingungen jährlich nur 1 bis 2 Tonnen Bodenmaterial je Hektar (Fleischhauer, 1993). Die Zunahme der Bodenerosion führt zur Erhö-

hung der Sedimentfracht der großen Flußsysteme. Jährlich gelangt hierdurch etwa 1 Mrd. t Kohlenstoff (sowie ebenfalls eutrophierend wirkende Mineralstoffe und Düngemittel) in die Weltmeere (WBGU, 1994).

Durch die große Armut und das starke Bevölkerungswachstum hat die Waldvernichtung und Überweidung und die dadurch bedingte Bodenerosion und -degradation vor allem in den tropischen und subtropischen Ländern dramatisch zugenommen. Die Degradation durch menschliche Eingriffe in ariden, semiariden und trocken-subhumiden Gebieten bezeichnet man als Desertifikation (UNEP, 1991). Die Ursachen für die Degradation und Desertifikation der Böden liegen zu 70 % in der Bewirtschaftung ungeeigneter Flächen, in Bewirtschaftungsfehlern und in der Überweidung der Savannen und zu etwa 30 % in der Rodung und Brandrodung der Wälder (Fleischhauer, 1993). Im einzelnen sind vier Faktoren hervorzuheben, die der Schädigung der Böden Vorschub leisten:

- Im Ackerbau (Wanderfeldbau) werden die notwendigen Brachezeiten verkürzt, so daß dem Boden nicht mehr genügend Zeit zur Regeneration bleibt, ohne daß dies durch geeigneten Fruchtwechsel oder gezielte Düngung kompensiert würde. Zusätzlich wird der Ackerbau auf ungeeignete Standorte ausgedehnt.
- Die Viehdichte ist so hoch, daß Gräser und Strauchwerk durch Überweidung Schaden nehmen.

Tabelle 2.29

Prozesse der Bodendegradierung (WB GU, 1993)

Verlagerung von Bodenmaterial		Bodeninterne Umwandlungen		
Wasserosion	Winderosion	Physikalische Prozesse	Chemische Prozesse	Biotische Prozesse
Verlust von Oberbodenmaterial	Verlust von Oberbodenmaterial	Versiegelung und Verkrustung von Oberflächen	Nährstoffverluste (Biomasseexport, Auswaschung)	Wandel der Biozönosenstruktur
Deformation der Oberflächen (Rinnen, Gullies, Täler)	Schädigung der Vegetation	Verdichtung (Bearbeitung)	Versalzung (Bewässerung)	Wandel der Biozönosenfunktion
	Deformation der Oberflächen (Senken, Wehen, Dünen)	Strukturwandel (Dispersion, Humusabbau)	Versauerung (Deposition, Biomasseexport)	Entkoppungen zwischen Zersetzungs- und Produktionsprozessen
		Wasserstau (Verdichtung, Bewässerung)	Toxifikation (Schwermetalle, Organika)	
		Austrocknung (Drainage)	Red/Ox-Veränderungen	
		Sedimentation	Abbau der organischen Substanz	

- Sträucher und Bäume werden als Brennholz schneller verbraucht, als sie nachwachsen können.
- Die einzelnen Brandrodungsflächen werden zu groß, so daß die Wiederbewaldung eingeschränkt wird.

Kann die überstrapazierte Vegetation dem Boden nicht mehr genug Schutz geben, vermindern die einsetzende Abtragung durch Wind und Wasser, die schnellere Austrocknung des Bodens und die Veränderung des Regionalklimas die Regenerationsfähigkeit der Vegetation. Teilweise kommt es zu einem völligen Abtrag des Oberbodens und zur Verwüstung ganzer Landstriche. Im Extremfall verwandelt die-

ser Prozeß offene Savannenlandschaften in Sandwüsten (BMWZ, 1987).

Mehr als ein Drittel (etwa 5,2 Mrd. ha) der eisfreien Landoberflächen gelten als Trockenzonen. Zwei Drittel (etwa 3,6 Mrd. ha) dieser Trockengebiete sind bereits durch Desertifikation/Degradation in Mitleidschaft gezogen oder verwüstet (Tab. 2.30). Auf 2,6 Mrd. ha ist die Vegetation degradiert (ohne bisher nachweisbare Bodendegradation) und auf etwa 1 Mrd. ha sind auch die Böden degradiert. Jahr für Jahr werden weitere 6 Mio. ha landwirtschaftliche Nutzfläche vollständig und irreversibel verwüstet. 21 Mio. ha LN/Jahr werden zumindest so stark geschädigt, daß eine weitere ökonomische Landbewirtschaftung nicht mehr möglich ist (UNEP, 1991).

Tabelle 2.30

Stand der Desertifikation/Degradation in landwirtschaftlich genutzten Trockengebieten der Welt (UNEP, 1991)

Kontinent	bewässerte Landflächen			mit ausreichend Regen versorgte Feldfruchtflächen			Weideland			gesamte landwirtschaftlich genutzte Trockenlandflächen		
	insgesamt		degradiert	insgesamt		degradiert	insgesamt		degradiert	insgesamt		degradiert
	Mio. ha	Mio. ha	%	Mio. ha	Mio. ha	%	Mio. ha	Mio. ha	%	Mio. ha	Mio. ha	%
Afrika	10,42	1,90	18	79,82	48,88	61	1 342,35	995,08	74	1 432,59	1 046,84	73,0
Asien	92,02	31,81	35	218,17	122,28	56	1 571,24	1 187,61	76	1 881,43	1 311,70	69,7
Australien . . .	1,87	0,25	13	42,12	14,32	34	657,22	361,35	55	701,21	375,92	53,6
Europa	11,90	1,91	16	22,11	11,85	54	111,57	80,52	72	145,58	94,28	84,8
Nordamerika .	20,87	5,86	29	74,17	11,61	16	483,14	411,15	85	578,18	428,62	74,1
Südamerika . .	8,42	1,42	17	21,35	6,64	31	390,90	297,75	76	420,67	305,81	72,7
Gesamt	145,50	43,15	30	457,74	215,56	47	4 556,42	3 333,46	73	5 159,66	3 562,17	69,0

Eine globale Abschätzungen der Bodendegradation (auch außerhalb der Trockengebiete) ermittelt eine bereits degradierte Landfläche von fast 2 Mrd. Hek-

tar, was 17 % der weltweiten eisfreien Landfläche (13 Mrd. ha) entspricht (Oldeman u. a., 1991, In: WBGU, 1994).

Tabelle 2.31

Ursachen und Ausmaß der anthropogenen Bodendegradation (Oldemann u. a., 1991, In: WBGU, 1994)

	Degradierete Flächen (Mio. km ²)	Ursachen der Degradierung in %				
		Rodungen	Übernutzung	Überweidung	Ackerbau	Industrie
Welt (gesamt)	19,64	30	7	35	28	1
Afrika	4,94	14	13	49	24	<1
Nord-/Mittelamerika	1,58	11	7	24	57	<1
Südamerika	2,43	41	5	28	26	<1
Asien	7,48	40	6	26	27	<1
Europa	2,19	38	<1	23	29	9
Ozeanien	1,03	12	<1	80	8	<1

2.3.3.2 Kohlendioxidemissionen

Der Anteil der Bodendegradation und -desertifikation an der Freisetzung klimarelevanter Spurengase ist derzeit nicht abschätzbar. Der degradationsbedingte Verlust von Nutzflächen verstärkt jedoch bei gleichzeitigem Bevölkerungswachstum die Nutzungsintensität auf den verbleibenden Flächen und die Notwendigkeit der weiteren Ausdehnung der Nutzflächen. Die in Kap. 2.3.2.2 genannten Emissionen sind daher anteilig auch der Bodendegradation zuzurechnen. Ebenso wie alle anderen Ressourcen ist auch die potentiell landwirtschaftlich nutzbare Bodenfläche begrenzt. Während in Lateinamerika und Afrika weitere Landnutzungsänderungen möglich erscheinen, stößt dies in Asien, wo die Landreserven bereits weitgehend erschöpft sind, an natürliche Grenzen. Zum Schutz der verbliebenen Wälder und in Anbetracht der gravierenden Probleme durch die Landnutzungsänderungen ist eine weitere Steigerung der Nahrungsmittelproduktion in Asien, aber auch in Afrika und Lateinamerika nur durch eine intensivere Nutzung bereits bewirtschafteter Flächen zu erreichen. Um jedoch den Teufelskreis aus Degradation und Landnutzungsänderungen zu durchbrechen, ist zugleich eine nachhaltige, schonende und degradationsvermeidende Bewirtschaftung der Flächen notwendig. Durch standortangepaßte Landbewirtschaftung (z. B. Agroforestry) können teilweise bereits degradierte Flächen wieder rekultiviert werden. Der großflächigen Wiederaufforstung gerodeter Waldflächen zur Schaffung von Kohlenstoffsenken steht zumindest in den Entwicklungsländern die Notwendigkeit der Ernährung einer wachsenden Bevölkerung entgegen. Es ist vielmehr zu befürchten, daß die Brandrodung der Wälder unvermindert voranschreitet. Zur CO₂-Freisetzung infolge von Landnutzungsänderungen in den gemäßigten Breiten gibt es keine Angaben.

2.3.4 Verbrauch fossiler Energieträger

Werden durch die Brandrodungen und Landnutzungsänderungen weltweit $1,6 \pm 1,0$ Mrd. t CO₂-C/Jahr freigesetzt, so führt die Verbrennung fossiler Energieträger insgesamt zu Emissionen in Höhe von $5,4 \pm 0,5$ Mrd. t CO₂-C/Jahr mit weiter steigender Tendenz. Auch die zunehmende Intensivierung der Landwirtschaft ist mit einem steigenden Verbrauch von fossilen Energieträgern verbunden. Dieser Verbrauch erfolgt direkt als Treibstoff, Heizöl etc. oder indirekt durch den Einsatz energieintensiver Vorlei-

stungen (Mineraldünger, Import-/Futtermittel, Maschinen, Gebäude, Pestizide etc.).

Die Landwirtschaft hat andererseits die besondere Möglichkeit, fossile Energieträger durch den Anbau nachwachsender Rohstoffe und Energieträger sowie mittels der energetischen Verwertung von Rest- und Abfallstoffen (Biomasse, -gas) zu ersetzen. In welchem Maß dies möglich oder sinnvoll ist, wird in Kap. 4.2.4.3 diskutiert.

2.3.4.1 Energieeinsatz

Durch die Intensivierung, Spezialisierung und Rationalisierung in der konventionellen Landwirtschaft wurden in den vergangenen Jahrzehnten in erheblichem Umfang die menschliche Arbeitskraft und die tierische Zugkraft durch Maschinen und Treibstoffe, im eigenen Betrieb erzeugtes Futter durch teilweise importierte Zukauffuttermittel sowie Wirtschaftsdünger und die biologische Stickstofffixierung der Leguminosen durch mineralische Stickstoffdünger ersetzt. Die Auswirkungen des Strukturwandels in der Landwirtschaft (Kap. 1.1.3) auf den Einsatz von Produktionsfaktoren und Energie sind zusammenfassend in Abb. 2.15 dargestellt.

In den fünfziger und sechziger Jahren stieg der direkte Energieeinsatz in der Landwirtschaft im Mittel um 9,1 % pro Jahr, während die Bruttobodenproduktion im jährlichen Durchschnitt nur um 1,3 % zunahm. Der Anstieg im Energieverbrauch hat sich jedoch in der jüngsten Vergangenheit etwas verlangsamt und ist bereits teilweise rückläufig (Tab. 2.32). In den siebziger Jahren stieg der Energieeinsatz insgesamt nur noch um 1,6 % pro Jahr (KTBL, 1987). Nach Berechnungen von Weber (1979) stieg der Gesamtenergieeinsatz in der deutschen Landwirtschaft (ABL) von etwa 250 PJ (Petajoule = 10¹⁵ Joule) im Jahr 1950 auf etwa 500 PJ im Jahr 1975 (Abb. 2.16).

Die Berechnung des Gesamtenergieeinsatzes wurden bis Anfang der neunziger Jahre fortgeführt (Tab. 2.32). Diese neueren Daten sind jedoch keine Fortschreibung der Ergebnisse von Weber (1979), da sie nur den kommerziellen Energieinput berücksichtigen und nicht, wie Weber, auch die menschliche Arbeitskraft energetisch bewertet und in die Berechnung einbezogen haben. Darüber hinaus sind die verschiedenen Energieträger und Betriebsmittel von Weber energetisch z. T. wesentlich höher bewertet worden, als dies nach heutigen Erkenntnissen üblich ist. Auch die Berechnungsgrundlagen für den indirekten Energieeinsatzes in Form von Betriebsmitteln ist in den beiden Untersuchungen nicht deckungsgleich.

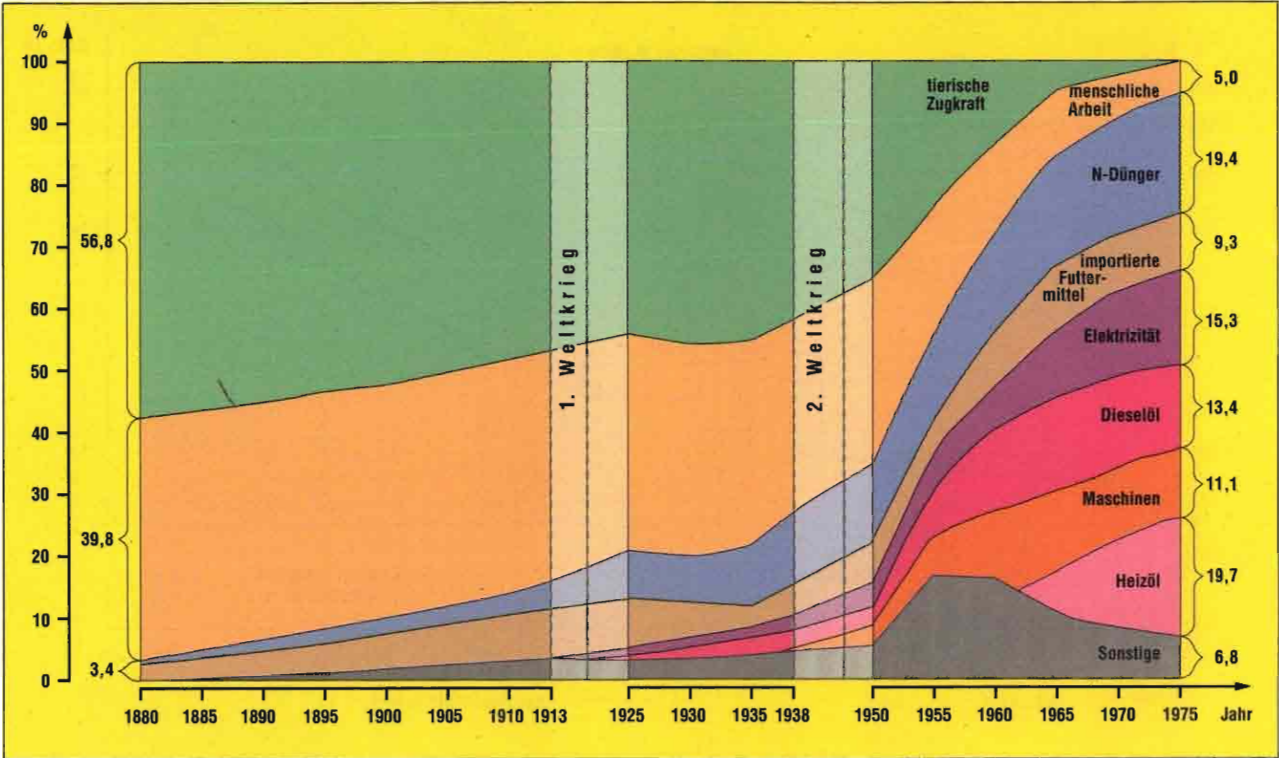


Abbildung 2.15: Anteil des Energieeinsatzes von Produktionsfaktoren am Gesamtenergieeinsatz in der deutschen Landwirtschaft von 1880 bis 1975 (Weber, 1979):

Tabelle 2.32

Entwicklung des Gesamtenergieeinsatzes in der Landwirtschaft (einschließlich Garten- und Weinbau) der Bundesrepublik Deutschland (Alte Bundesländer) (KTBL, 1987; Zahlen für 1990/91 ergänzt nach Angaben des Bundesamtes für Ernährung und Forstwirtschaft)

Betriebsmittelart	Gesamtenergieeinsatz je Wirtschaftsjahr in GJ				
	1970/1971	1975/1976	1980/1981	1985/1986	1990/1991
1. Direkter Energieeinsatz	165 297,12	175 359,14	188 450,44	186 398,88	184 669,71
— Kraftstoffe	77 959,28	77 080,04	83 527,80	82 062,40	77 402,43
— Heizöl	73 270,00	82 062,40	86 751,68	84 407,04	87 894,69
— Elektrizität	10 843,96	14 067,84	16 705,56	18 757,12	17 877,87
— Gas und feste Brennstoffe .	3 223,88	2 148,80	1 406,78	1 172,32	1 494,71
2. Indirekter Energieeinsatz	182 582,39	188 803,32	218 096,93	211 507,34	192 825,83
— Mineraldünger	71 546,40	74 706,68	90 598,36	86 970,32	76 637,49
(darunter N-Dünger)	(51 995,03)	(56 454,54)	(71 303,73)	(69 694,42)	(62 890,28)
— Pflanzenschutzmittel	1 029,00	2 520,78	3 426,11	3 126,58	3 448,38
— Futtermittel	79 413,84	81 977,41	95 078,08	96 383,75	87 615,68
— Saat- und Pflanzgut	3 142,70	2 793,64	3 142,99	3 142,70	3 143,28
— Maschinen	23 348,51	22 703,74	21 614,65	17 764,46	21 981,00
— Schmierstoffe	253,51	252,64	271,10	271,10	21 981,00
— Wirtschaftsgebäude	3 848,43	3 848,43	3 848,44	3 848,43	21 981,00
Gesamtenergieeinsatz	347 879,51	364 162,45	406 547,97	397 906,22	377 495,54

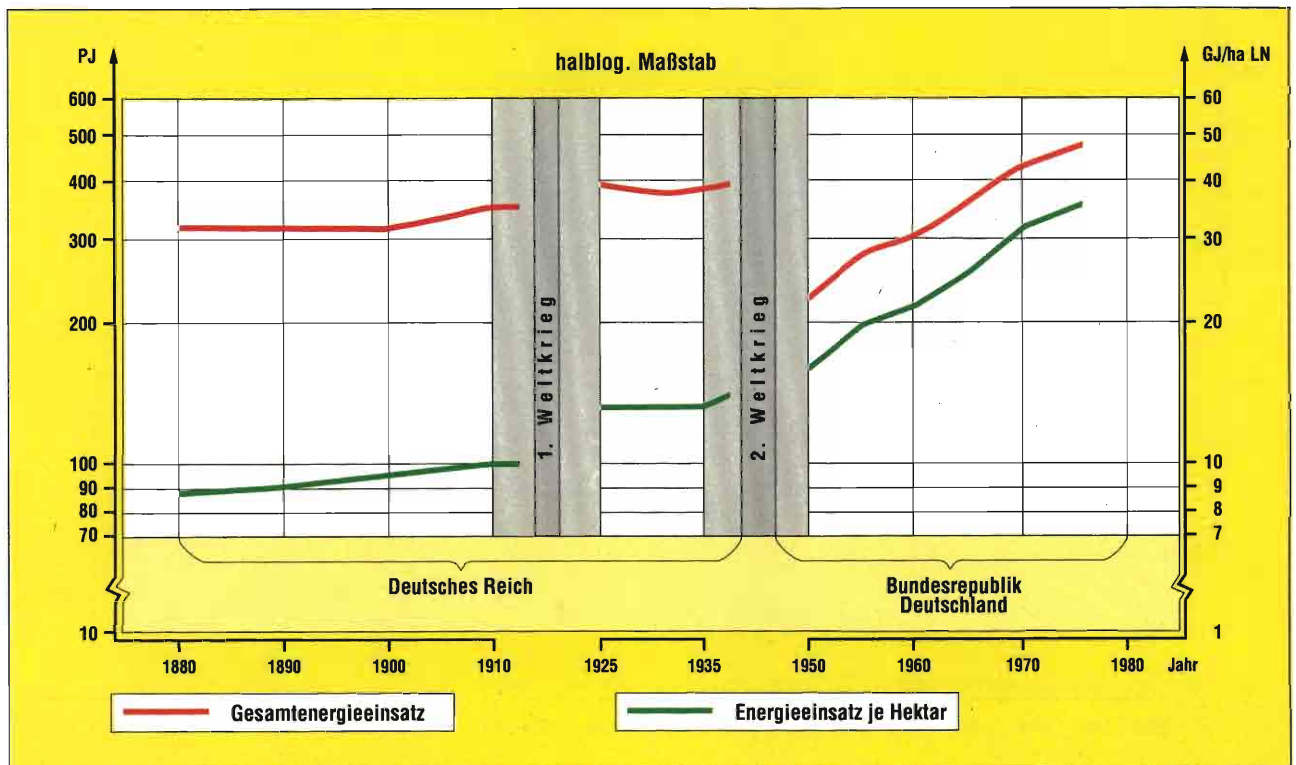


Abbildung 2.16: Gesamtenergieeinsatz (in PJ¹⁾) und Energieeinsatz je Hektar (in GJ²/ha LN) in der deutschen Landwirtschaft von 1880 bis 1975 (Weber, 1979)

¹⁾ PJ = Petajoule (10¹⁵ Joule)

²⁾ GJ = Gigajoule (10⁹ Joule)

Abweichend von den Angaben in Tab. 2.32 ermittelten Haas und Köpke (1994) in ihrer Studie für die Enquete-Kommission für das Jahr 1990/91 einen deutlich höheren Gesamtenergieeinsatz im Agrarsektor in Höhe von 412,3 PJ (ABL) (Abb. 2.17). Der Unterschied ist im wesentlichen auf eigene Berechnungen für die Bereiche Treibstoffe, Elektrizität und Futtermittel zurückzuführen. So ermittelten Haas und Köpke den Energieeinsatz für den Stromverbrauch in der Landwirtschaft unter Berücksichtigung eines primärenergetischen Wirkungsgrades von 33,5 %. Der Primärenergiebedarf für Strom ist daher dreimal höher als vom Bundesamt für Ernährung und Forstwirtschaft (BEF) in Tab. 2.32 angegeben (Haas u. Köpke, 1994).

Der gesamte Energieverbrauch im Agrarsektor der Bundesrepublik Deutschland (ABL) lag im Wirtschaftsjahr 1990/91 bei 412,3 PJ und betrug damit 3,6 % des gesamten Energieverbrauches in den alten

Ländern (Abb. 2.16). Die größten Anteile am direkten Energieverbrauch haben Heizöl, Kraftstoffe und Strom, am indirekten Energieverbrauch Stickstoff-/Dünger, Import-/Futtermittel und Maschinen. Nach Literaturangaben liegt der Anteil des Agrarsektors am jeweiligen nationalen Energieverbrauch in Industrieländern allgemein zwischen 2 und 6 %. Für den gesamten Ernährungssektor werden jeweils zwischen 12 und 21 % am Gesamtenergieverbrauch angegeben (verschied. Quellen; In: Haas u. Köpke, 1994).

Die Produktivität des Energieeinsatzes in der Landwirtschaft hat sich in der Vergangenheit trotz gestiegener Erträge wesentlich verschlechtert (Kap. 1.1.3). Zwischen 1905 und 1975 verringerte sich das Verhältnis zwischen eingesetzter und „geernteter“ Energiemenge um 55 %. Wurden 1905 pro eingesetzter Energieeinheit noch 4 Einheiten an Nahrungsenergie erzeugt, so waren es 1950 noch etwa 2,7 Einheiten und 1975 nur noch 1,8 Einheiten an Nahrungsenergie

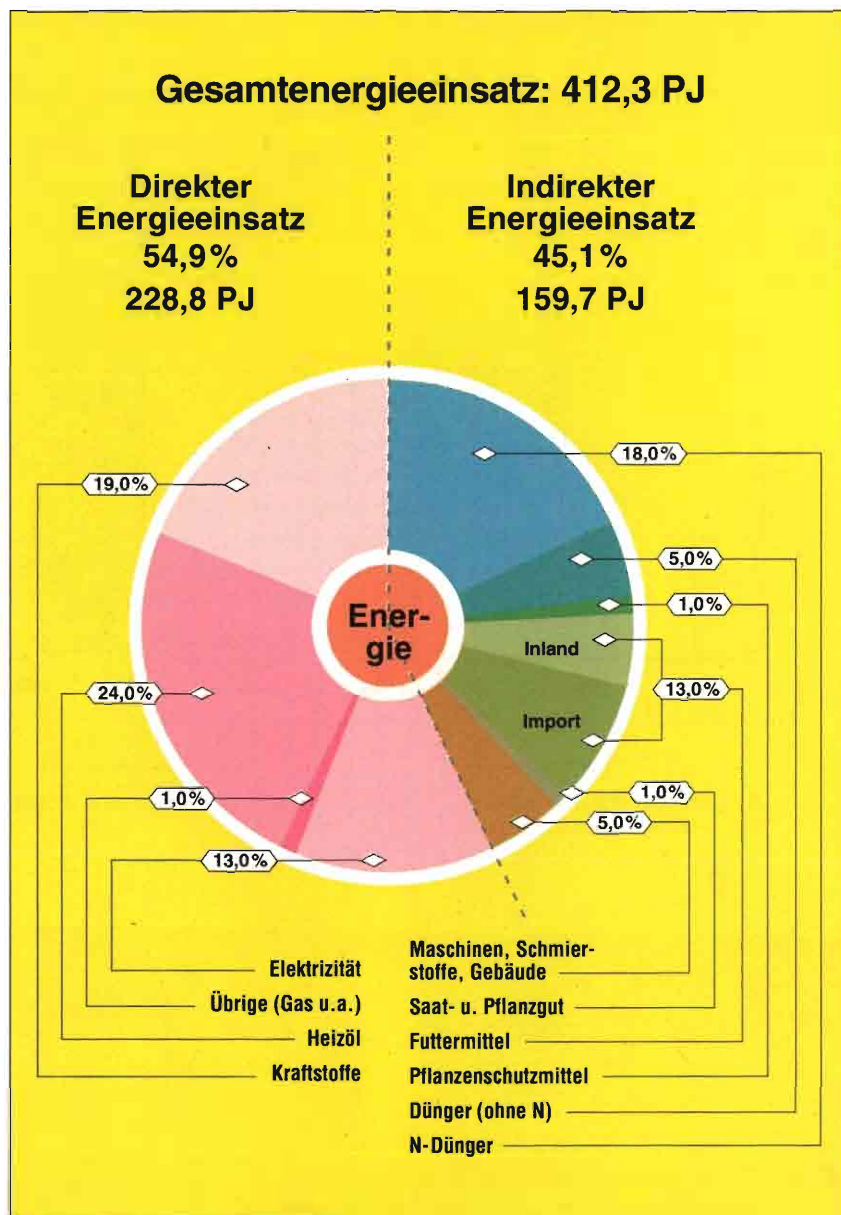


Abbildung 2.17: Gesamtenergieeinsatz im Agrarsektor der Bundesrepublik Deutschland (ABL) 1990/91 (Haas u. Köpke, 1994).

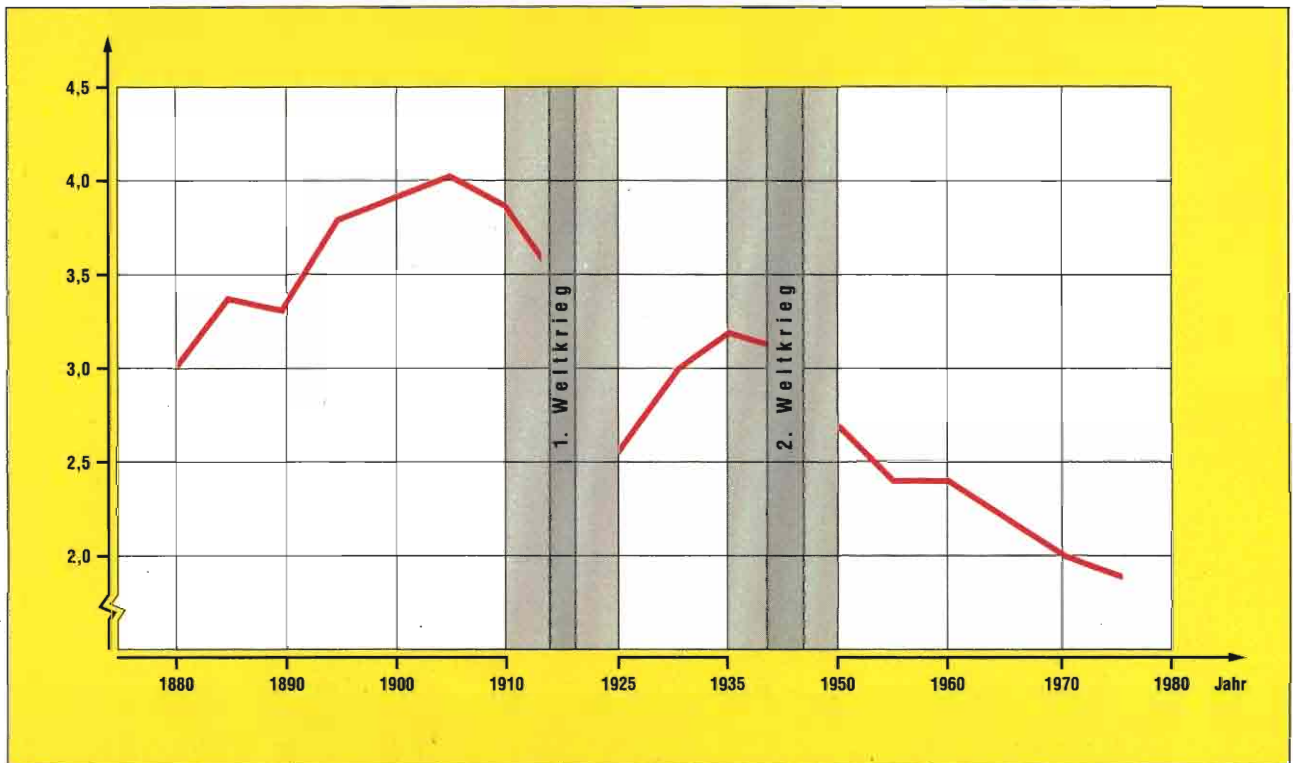


Abbildung 2.18: Produktivität des Energieeinsatzes (Joule Bruttobodenproduktion je Joule Energieeinsatz) in der deutschen Landwirtschaft von 1880 bis 1975 (Weber, 1979):

(Weber, 1979) (Abb. 2.18). Die energetische Input-Output-Relation sank beispielsweise im Maisanbau von 1 : 3,7 (1945) auf 1 : 2,5 (1970) (Pimentel u. a., 1973, In: Lünzer, 1992 a und b). Sowohl die Erträge (in absoluten Zahlen) als auch die Arbeits- und Flächenproduktivität sind im gleichen Zeitraum dagegen deutlich gestiegen (Weber, 1979).

Es liegen keine umfassenden aktuelleren Untersuchungen zur Energiebilanz des gesamten Landwirtschaftssektors oder einzelner Betriebszweige bzw. Produktionsverfahren vor. Daher hat die Enquete-Kommission eine Studie in Auftrag gegeben, die den Energieeinsatz in der konventionellen Landwirtschaft und im ökologischen Landbau miteinander vergleicht. Der ökologische Landbau strebt im Gegensatz zur konventionellen Landwirtschaft einen möglichst

geschlossenen Betriebskreislauf an und ist weit weniger von importierten Betriebsmitteln abhängig. Der Zukauf von Futtermitteln ist stark eingeschränkt und der Einsatz von mineralischen Stickstoffdüngern ist verboten. Die Tierhaltung erfolgt auf betriebseigener Futtergrundlage mit dem Schwerpunkt im Leguminosenanbau, der über die Pflanzenrückstände und den Wirtschaftsdünger (Stallmist) dem Betriebskreislauf Stickstoff zuführt. Der direkt zuordbare flächenbezogene Energieeinsatz im ökologischen Landbau beträgt 6,6 GJ/ha (Gigajoule = 10^9 Joule). Der Energieeinsatz in der konventionellen Landwirtschaft (Durchschnitt der Haupterwerbsbetriebe) ist mit 19,4 GJ/ha dreimal so hoch. Die Erträge liegen im ökologischen Landbau im allgemeinen nur um 10 bis 30 % niedriger als in der konventionellen Landwirtschaft (Haas u. Köpke, 1994).

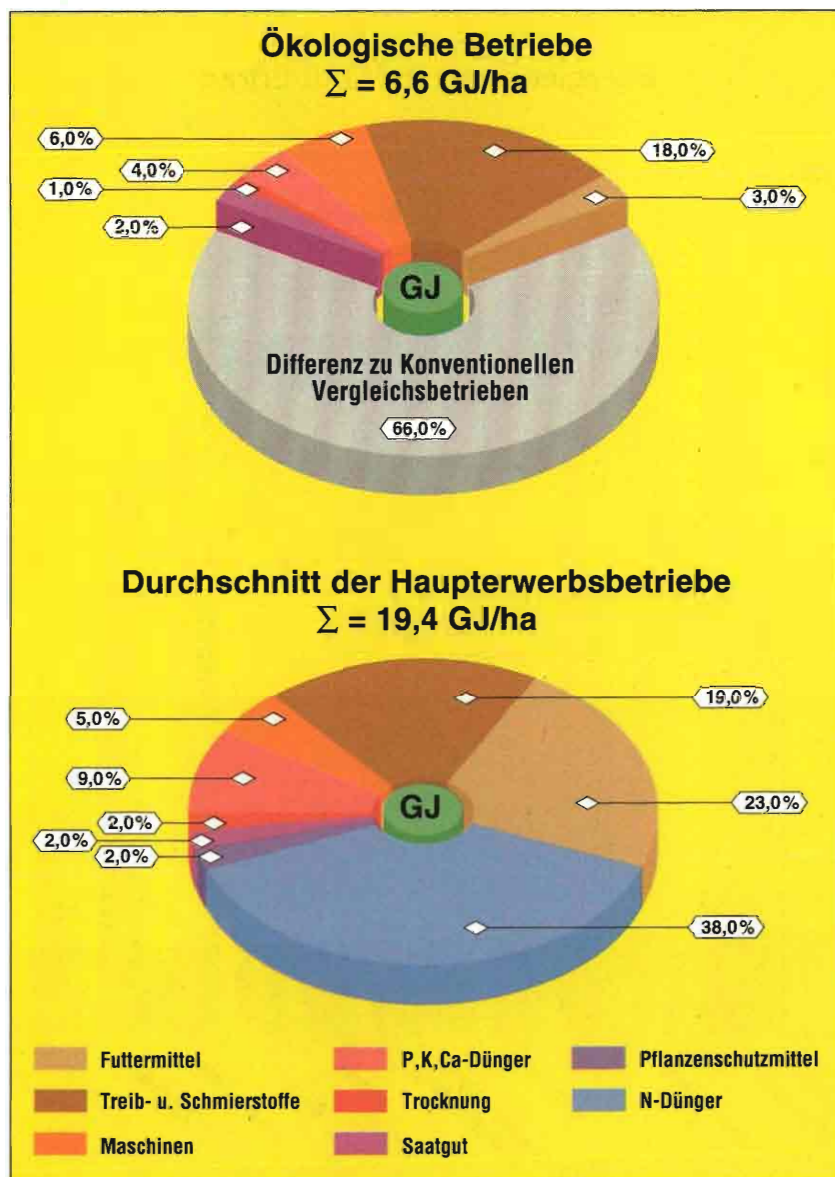


Abbildung 2.19: Durchschnittlicher Energieeinsatz (direkt zuordbare Energieträger) im ökologischen und konventionellen Pflanzenbau bei systemüblichen Flächenanteilen einzelner Nutzpflanzenarten (Flächennutzungsanteile nach Agrarbericht 1993) (Haas u. Köpke, 1994).

Dieser deutliche Unterschied ist im wesentlichen auf die mineralische Stickstoffdüngung und die Futtermittelzukaufe zurückzuführen. Der anteilige Energieaufwand für die mineralische Stickstoffdüngung im intensiven Getreide- und Hackfruchtbau beträgt bis zu 50 % des Gesamtenergieeinsatzes je Fläche (Haas u. Köpke, 1994). Die Energieeinsparungen durch ökologische Wirtschaftsweisen liegen bei Winterweizen zwischen 15 und 48 %, bei Gerste bei 25 % und bei Sommerweizen bei 47 % (USDA, 1980, In: Lünzer, 1992 a und b). Der Vergleich des Energieverbrauchs je Ertragseinheit verdeutlicht ebenfalls die erheblichen Einsparpotentiale an fossiler Energie (Abb. 2.20).

2.3.4.2 Kohlendioxidemissionen

Der Einsatz fossiler Energieträger im Agrarsektor (Abb. 2.16) führte im Jahr 1990/91 zu CO₂-Emissionen in Höhe von 27,5 Mio. t CO₂. Dies entspricht einem Anteil von 3,9 % an den Gesamtemissionen der Bundesrepublik Deutschland (ABL) in Höhe von 708 Mio. t CO₂ (Haas u. Köpke, 1994).

Hochgerechnet auf die gesamte Fläche der Bundesrepublik Deutschland (ABL u. NBL) ergeben sich jährliche CO₂-Emissionen von schätzungsweise 38,4 Mio. t CO₂ (Smukalski u. a., 1992). Auf die gesamte land-

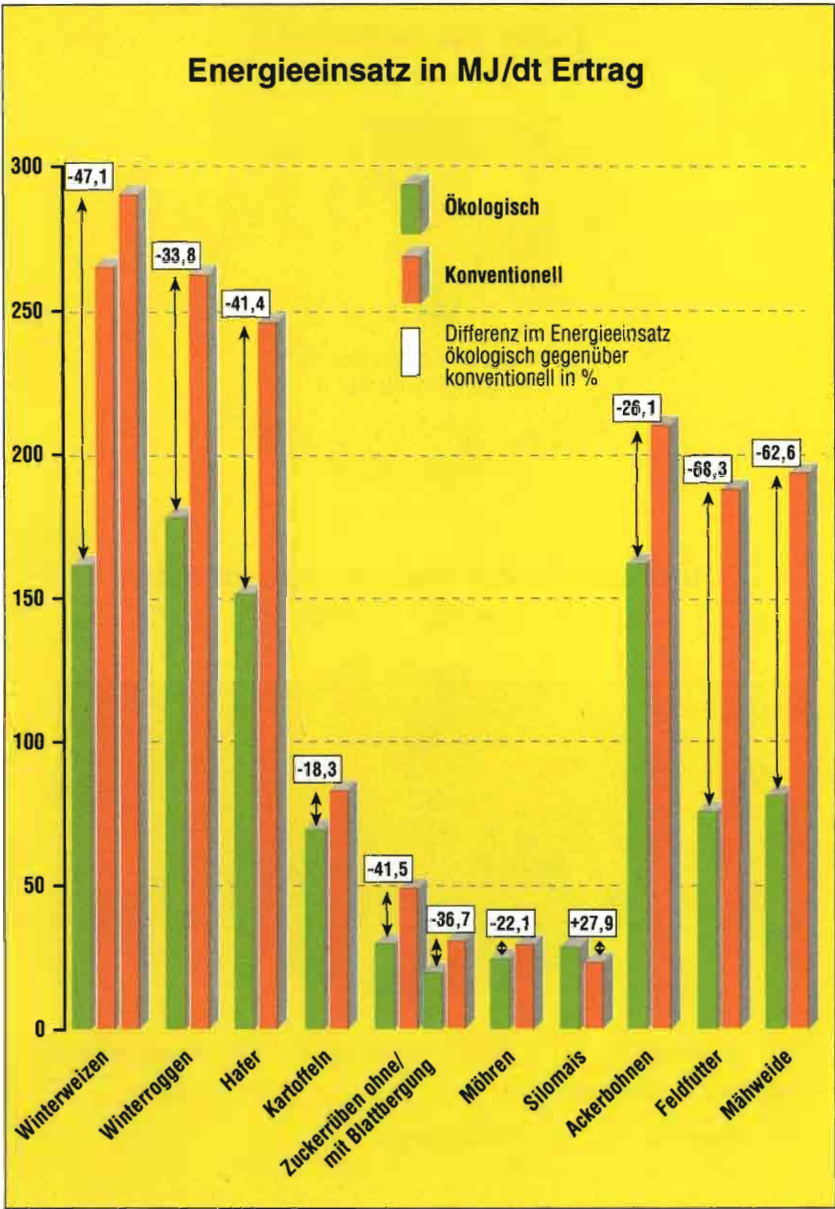


Abbildung 2.20: Energieeinsatz bezogen auf den Ertrag im konventionellen und ökologischen Landbau (Haas u. Köpke, 1994).

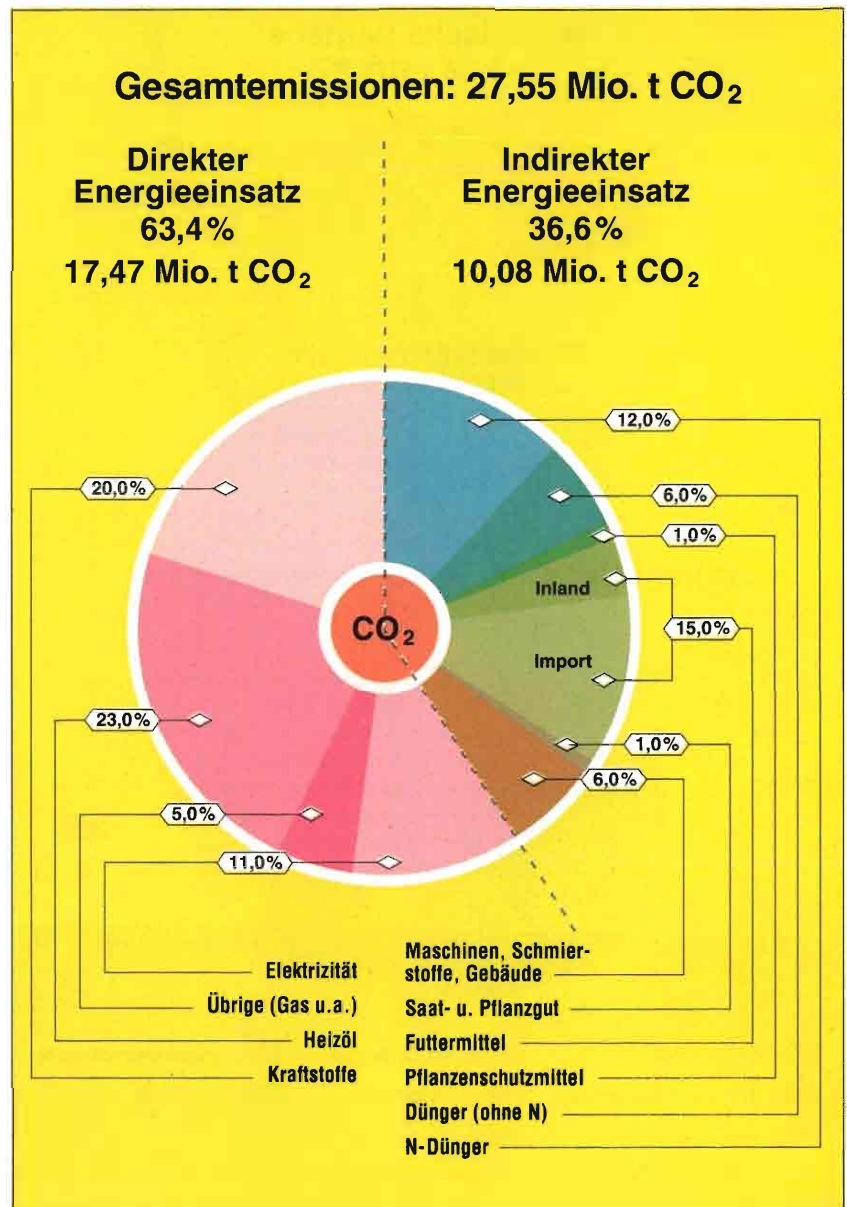


Abbildung 2.21: Kohlendioxidemissionen im Agrarsektor der Bundesrepublik Deutschland (ABL) 1990/91 (Haas u. Köpke, 1994).

wirtschaftliche Nutzfläche bezogen, entspricht dies der Emission von etwa 2,24 t CO₂/ha x Jahr (Burdick, 1994). Die dargestellten Unterschiede im Energieverbrauch zwischen der konventionellen und ökologischen Landwirtschaft führen zu entsprechend unterschiedlichen CO₂-Emissionen (Abb. 2.22).

Die direkt zuordbaren flächenbezogenen CO₂-Emissionen im ökologischen Landbau (0,54 t CO₂/ha

x Jahr) liegen bei nur 39 % der konventionellen Vergleichsbetriebe (1,4 t CO₂/ha x Jahr). Während im ökologischen Landbau etwa die Hälfte des emittierten CO₂ auf den direkten Energieeinsatz (Treibstoffe, Heizöl, Strom) zurückzuführen ist, beträgt dieser Anteil im konventionellen Landbau durch den hohen Einsatz von Vorleistungen nur etwa ein Viertel (Haas u. Köpke, 1994).

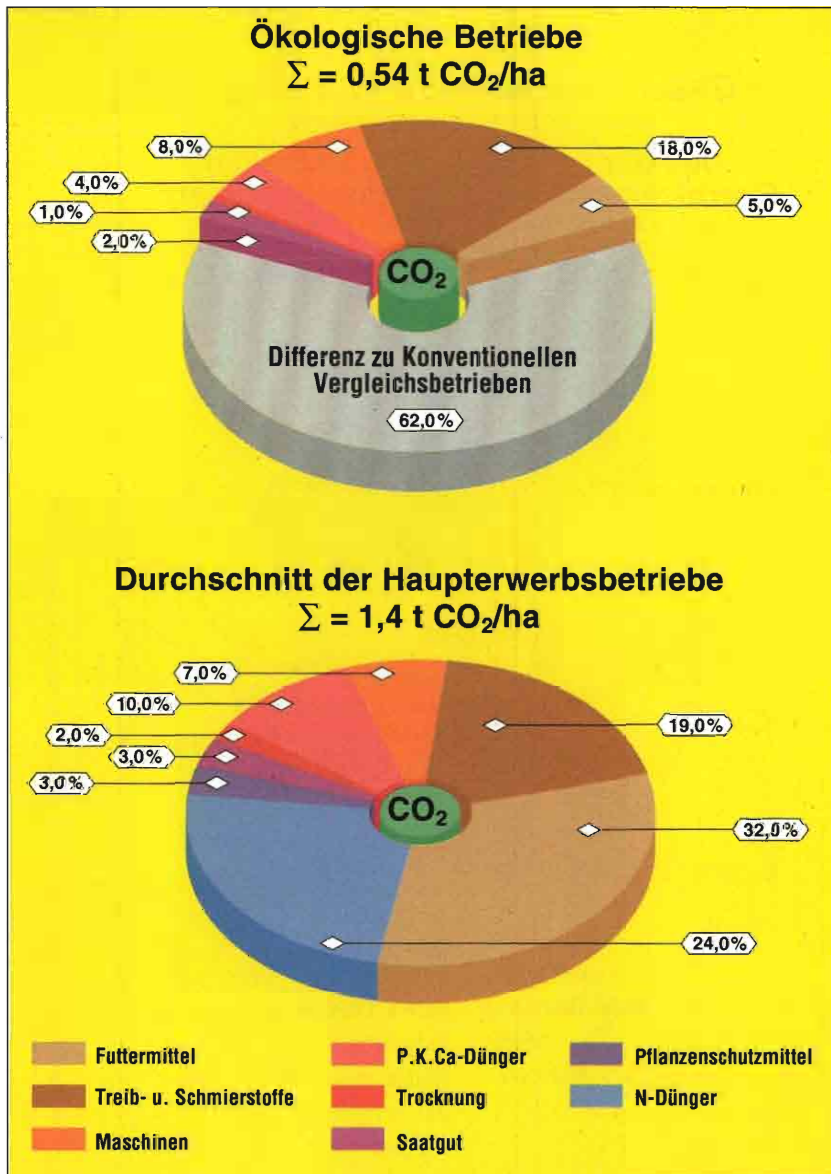


Abbildung 2.22: Durchschnittliche CO₂-Emission (aus direkt zuordbaren Energieträgern) bei konventioneller und ökologischer Bewirtschaftung bei systemüblichen Flächenanteilen einzelner Nutzpflanzenarten (Flächennutzungsanteile nach Agrarbericht 1993) (Haas u. Köpke, 1994).

2.4 Indirekt klimawirksame Spurengase

In der Landwirtschaft werden neben den bereits genannten direkt klimawirksamen Spurengasen Methan (CH₄), Distickstoffoxid (N₂O) und Kohlendioxid (CO₂) eine Reihe weiterer atmosphärischer Spurengase freigesetzt. Diese Gase wirken indirekt auf das Klima, weil sie unter anderem den Auf- und Abbau direkt klimarelevanter Spurengase beeinflussen (Ozonbildung in der Troposphäre; Abschnitt A, Kap. 2). Zu nennen sind hier Stickstoffoxide (NO_x), Kohlenmonoxid (CO), Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (NMHC) und gasförmige Schwefelverbindungen wie Carbonylsulfid (COS). Ammoniak (NH₃) ist ebenfalls nicht direkt klimawirksam. Es trägt zur

Eutrophierung natürlicher und naturnaher Ökosysteme bei und verstärkt deren Freisetzung von NO_x und N₂O bzw. führt durch Versauerung der Böden zur Schädigung der Ökosysteme (z. B. Waldsterben) und reduziert deren Kohlenstoffaufnahme (CO₂ und CH₄).

2.4.1 Ammoniak (NH₃)

Ammoniakemissionen entstehen fast ausschließlich in der Landwirtschaft und hier weit überwiegend in der Tierhaltung. Aus dem Harnstoff der Tierfäkalien wird mikrobiell Ammonium (NH₄⁺) und CO₂ gebildet, das teilweise als Ammoniak gasförmig entweicht (Kap.

**Mittlere Nährstoffgehalte und Nährstoffformen organischer Dünger
(in kg Nährstoff/Tonne Wirtschaftsdünger) (AID, 1992)**

Dünger	Trocken- substanz (%)	Gesamt- Stickstoff	NH ₄ - Stickstoff	NH ₄ -N in %	P ₂ O ₅	K ₂ O
Festmist Rind	25	5	0,5	10	3,0	6
Festmist Schwein	23	6	0,6	10	5,0	3
Gülle Rind	10	4	2,0	50	2,0	6
Gülle Schwein	7,5	4,5	3,1	70	4,5	3
Jauche	3	3,0	3,0	100	1,0	7

2.2.1 u. 2.2.3.1). Ammoniak wird im Stallbereich, bei der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern sowie bei der Weidewirtschaft freigesetzt.

Die globalen NH₃-Emissionen werden auf etwa 28 bis 45 Mio. t geschätzt, die nahezu ausschließlich anthropogenen Ursprungs sind. In Europa werden sechs bis acht Mio. t NH₃/Jahr freigesetzt (Döhler, 1991 a u. b; Hartung, 1992). In der Bundesrepublik Deutschland (ABL u. NBL) wurden 1990 etwa 650 000 t NH₃/Jahr (ABL: 480 000 t ; NBL: 175 000 t) emittiert (BMU, 1993 a) (Abschnitt C, Kap. 3.5.3, Tab. 3.8). Etwa 90 % der Gesamtemissionen sind — global wie national — der Tierhaltung zuzurechnen. Die restlichen 10 % entstehen überwiegend bei der Produktion und Ausbringung von mineralischen Stickstoffdüngern (Döhler, 1991 n u. b).

Ammoniak (NH₃) ist für viele Organismen toxisch. Es führt bei hohen Immissionsraten zu Welkeerscheinungen, Nekrosen (Gewebeschäden) und Blütenendfäulen an Pflanzen (Döhler, 1991 b). Der aus der Landwirtschaft stammende Ammoniak-Stickstoff ist an der Überdüngung und Bodenversauerung der Waldökosysteme etwa zur Hälfte beteiligt. Die andere Hälfte des Versauerungspotentials tragen die Stickstoffoxid-Emissionen aus dem Verkehrs- und Energiebereich bei (Isermann, 1994).

Die Rationalisierung in der Intensivtierhaltung verdrängte seit Mitte der sechziger Jahre die Festmist-Wirtschaft zunehmend durch die Einführung der weniger arbeitsintensiven Aufstallung auf Spaltenböden ohne Einstreu (Flüssigmistsysteme). Diese Ausweitung der Güllewirtschaft (Tab. 2.8) sowie die erhebliche Zunahme der Tierzahlen sind die wesentlichen Ursachen für den Anstieg der NH₃- und CH₄-Emissionen in Deutschland bzw. Europa (Kap. 2.1.3.2). Erst in jüngster Zeit sind die Tierzahlen leicht rückläufig.

Der unterschiedliche Beitrag der Wirtschaftsdünger zur NH₃-Emission ist auf deren unterschiedlichen Ammoniumgehalt zurückzuführen. Der Stickstoff in der Gülle liegt überwiegend als leicht lösliches Ammonium vor (Tab. 2.33).

Je löslicher die Stickstoffverbindungen sind, desto rascher sind sie pflanzenverfügbar, aber desto höher sind auch die Verluste. Nitrat wird in Grund- und

Oberflächengewässer ausgewaschen oder denitrifiziert (N₂O-Emissionen), Ammonium entweicht gasförmig als Ammoniak. Im Stallmist und Kompost liegt Stickstoff dagegen nahezu ausschließlich in organischer Bindung vor. Organisch gebundener Stickstoff wird nur sehr mäßig bis langsam durch Mineralisation verfügbar, wirkt daher langsam und nachhaltig und stellt somit eine über Jahre wirksame verlustarme Stickstoffquelle dar (Tab. 2.34).

Tabelle 2.34

**N-Fractionen verschiedener Verfügbarkeit
in organischen Düngern
(Angaben in Prozent des Gesamt-N-Gehaltes)
(Sluijsmans u. Kolenbrander, 1977)**

Dünger	min. Stickstoff sofort verfügbar	org. Stickstoff mäßig verfügbar	org. Stickstoff langsam verfügbar
Stallmist	10	46	44
Rindergülle	50	25	25
Schweinegülle .	51	34	15
Hühnergülle ...	54	32	14
Jauche	94	3	3

Der durchschnittliche Viehbesatz ökologischer Betriebe ist aufgrund der limitierten Futtermittelzukäufe flächengebunden mit einer Vieheinheit/ha (1 VE/ha) deutlich niedriger als in den konventionellen Haupterwerbsbetrieben (1,6 VE/ha). Die durchschnittliche Tierbesatzdichte in der intensiven konventionellen Massentierhaltung, vor allem in der Schweinehaltung, liegt bei 4,6 VE/ha (BML, 1993 b). Entsprechend dem Tierbesatz je Hektar verursacht die Tierhaltung im ökologischen Landbau NH₃-Emissionen in Höhe von 25 kg NH₃-N/ha x Jahr. Die Emissionen konventioneller Haupterwerbsbetriebe betragen 45 kg NH₃-N/ha x Jahr, die Emissionen durchschnittlicher Veredlungsbetriebe liegen bei 132 kg NH₃-N/ha x Jahr und in intensiven Veredlungsbetrieben werden sogar 162 kg NH₃-N/ha x Jahr freigesetzt (Abb. 2.23) (Haas u. Köpke, 1994).

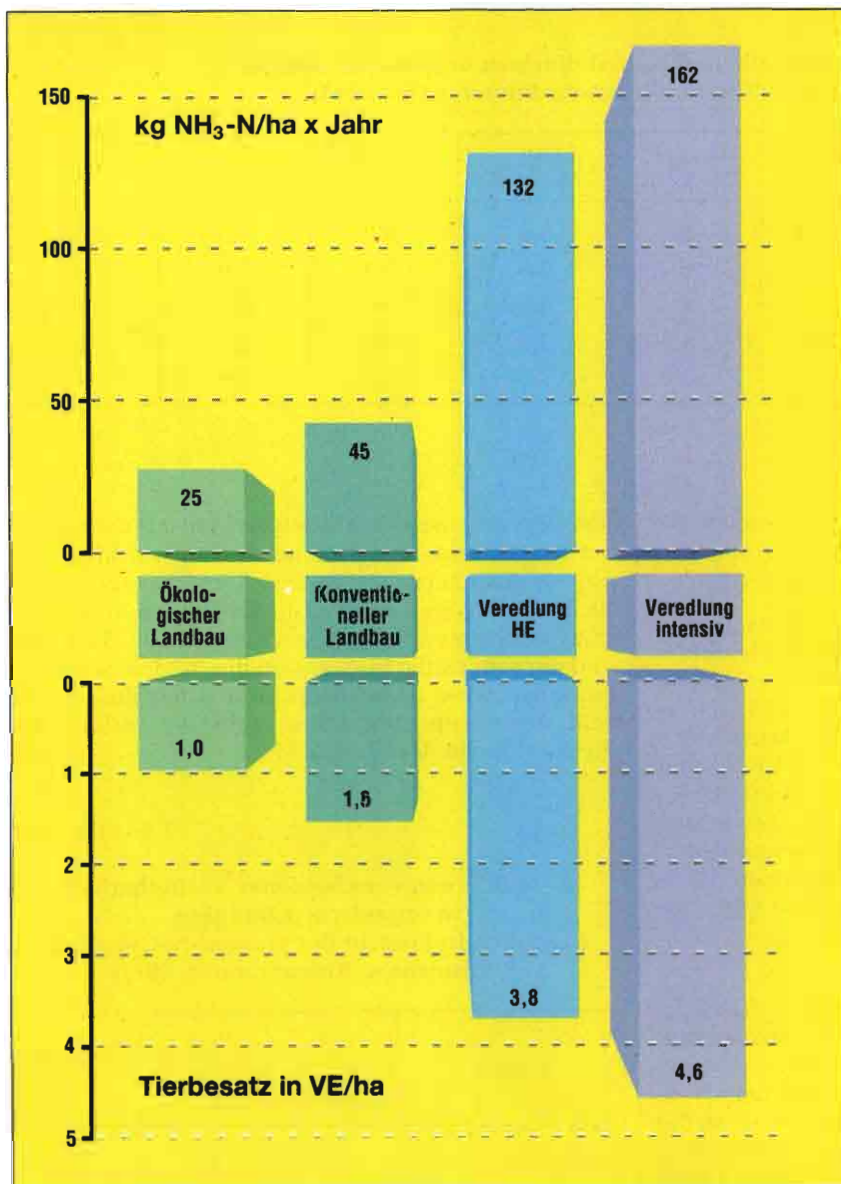


Abbildung 2.23: Viehbesatz und Ammoniakemissionen ökologischer und konventioneller Betriebe 1991/92 (in VE/ha und kg NH₃-N/ha x Jahr) (Haas u. Köpke, 1994).

1) Viehbesatz nach Agrarbericht 1993 für ABL

2) Intensive Veredlungsbetriebe mit Standarddeckungsbeitrag 60 000 DM (Agrarbericht 1993)

Bei Viehbesatzdichten über 2 bis 2,5 VE/ha ist eine umwelt- und klimaverträgliche Anwendung von Wirtschaftsdüngern nicht mehr möglich (Haas u. Köpke, 1994). Hinzu kommt, daß hohe Viehbesatzdichten in aller Regel mit Flüssigmistsystem verbunden sind. Die Aufstallung im ökologischen Landbau erfolgt dagegen in Festmistsystemen mit Stroheinstreu. In Flüssigmistsystemen treten die höchsten NH₃-Emissionen auf, abhängig von der Lufttemperatur im Stall, dem Querschnitt der Güllekanäle und der allgemeinen Stallhygiene (Nachspülen mit Wasser). NH₃ hat einen hohen Dampfdruck. Je länger die Harnstoff- bzw. ammoniumhaltigen Fäkalien der Luft ausgesetzt sind und je höher die Umgebungstemperatur ist, desto

mehr Ammoniak entweicht. Beim Rottemist sind die Emissionen geringer und hängen hier vor allem vom Strohzusatz ab. Je mehr trockenes Stroh zugesetzt wird, desto höher sind die Emissionen. Die geringsten Emissionen entstehen bei der Tiefstallhaltung, da hier der Mist feucht und fest gelagert wird (Kempkens, 1991). Festmist ist generell kühl und feucht zu lagern. Flüssigmist sollte ebenfalls kühl, aber darüber hinaus unbedingt abgedeckt gelagert werden. Des weiteren sollte Gülle nicht gerührt oder belüftet werden, da der Luftkontakt die Ammoniakemissionen deutlich erhöht. Statt dessen ist die Gülle — soweit von der Lagerkapazität her möglich — mit Wasser zu verdünnen.

Die pH-Werte von anaerob gelagerter Schweine- und Rindergülle schwanken in der Regel zwischen pH 7,2 und 8,5. Sofort nach der Ausbringung entweichen, vor allem bei höheren Temperaturen organische Säuren (Propion- u. Essigsäure) und Kohlendioxid aus der Gülle. Dies führt zu einem raschen pH-Anstieg in der Gülle. Je höher der pH-Wert, desto mehr Ammoniak entweicht (Aldag, 1991).

Je nach Ausbringungstechnik und Wetterlage können bis zu 90 % des in der Gülle enthaltenen Ammonium-

Stickstoffs als Ammoniak verdampfen. NH_3 löst sich leicht in Wasser. Daher sollte Gülle bei kühler, feuchter Witterung, möglichst bei leichtem Regen und Windstille oder auf feuchten Boden ausgebracht und eingearbeitet werden. Die Einarbeitung muß sofort erfolgen, da die Verluste gleich nach der Ausbringung am höchsten sind. In einem Pflanzenbestand sollte die Ausbringung durch Schleppschläuche, auf Grünland durch Bodeninjektion erfolgen. Das großflächige Versprühen ist generell zu untersagen.

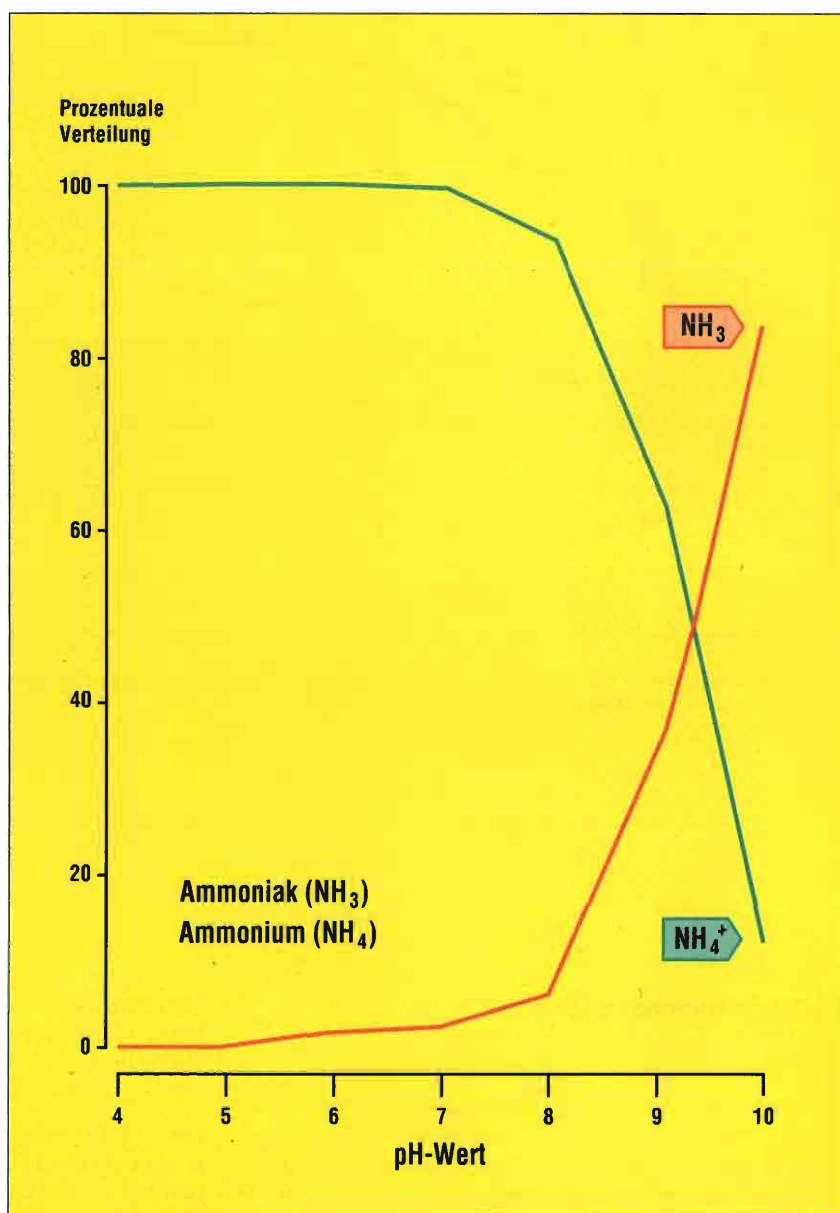


Abbildung 2.24: Der Einfluß des pH-Wertes auf die Verteilung von Ammoniak und Ammonium in der Lösung (nach Court u. a., 1964; In: Aldag, 1991).

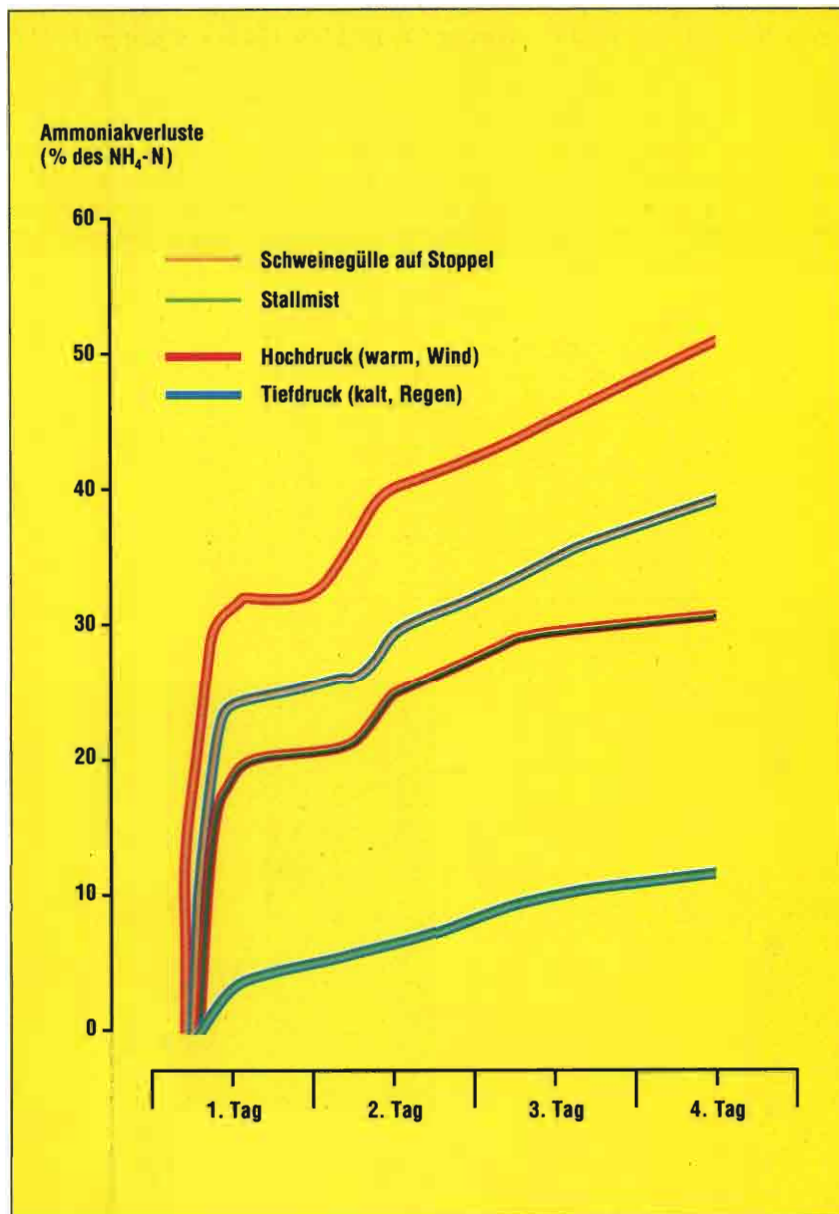


Abbildung 2.25: Einfluß der Witterung auf die Ammoniakverluste nach Gülleausbringung (nach Bless, 1990; In: Brockerhoff, 1991).

2.4.2 Kohlenmonoxid (CO)

Das Kohlenmonoxid entsteht im Bereich der Landwirtschaft vor allem durch die Biomasseverbrennung (Kap. 2.3.2.2, Tab. 2.26) bei der Brandrodung tropischer Wälder (Landnutzungsänderungen), Savannenbränden und der Verbrennung von Holz und landwirtschaftlichen Abfällen. Indirekt trägt die Landwirtschaft durch ihren Anteil an der Verbrennung fossiler Energieträger und an den CH_4 - und Nichtmethan-

Kohlenwasserstoffemissionen zur CO -Freisetzung bzw. CO -Bildung bei. Durch die photochemische Oxidation von CH_4 und Nichtmethan-Kohlenwasserstoffen wird in der Troposphäre CO gebildet.

Die globalen Emissionen durch die Biomasseverbrennung betragen schätzungsweise 360 Mio. t CO (Bouwman u. a., 1991), können aber nur mit einer erheblichen Schwankungsbreite angegeben werden. Nach einer älteren Schätzung liegen die CO -Emissionen deutlich höher.

Tabelle 2.35

**Anthropogene CO-Emissionen
(in Mio. t CO/Jahr) (EK, 1990 b)**

Verbrennung fossiler Brennstoffe	500 (400—1 000)
Brandrodung tropischer Wälder	400 (200— 800)
Savannenbrände und landwirtschaftliche Abfälle	200 (100— 400)
Verbrennung von Holz zur Energiegewinnung	50 (25— 150)
Photochemische Oxidation von anthropogenem CH ₄ in der Troposphäre	250 (200— 300)
Photochemische Oxidation von anthropogenem NMHC in der Troposphäre	90 (60— 120)
Summe	1 490 (985—2 770)

2.4.3 Stickstoffoxide (NO_x)

NO und NO₂ (zusammen als NO_x bezeichnet) entstehen vor allem durch die Biomasseverbrennung bei der Brandrodung und den Savannenbränden (Kap. 2.3.2.2, Tab. 2.26). Über den Brandrodungsgebieten der Tropen und den Großbränden in den Savannen führen die freigesetzten Stickstoffoxide zu Ozonkonzentrationen, die mit den hohen Ozonkonzentrationen in industriell belasteten Photosmoggebieten der Nordhemisphäre vergleichbar sind (Andrae, 1991).

In Böden entstehen NO_x bei den gleichen mikrobiologischen Prozessen, in denen auch N₂O gebildet wird (Denitrifikation, Nitrifikation) (Kap. 2.2.2). Die Bildungsraten der verschiedenen Stickstoffoxide variieren in Abhängigkeit von den Bodenverhältnissen. Die NO_x-Freisetzung wird allgemein durch Stickstoffdüngung stark stimuliert. Die wenigen vorliegenden

Tabelle 2.36

**Anthropogene Quellen der Stickstoffoxide
in der Troposphäre (in Mio. t NO_x-N/Jahr
(IPCC, 1992; EK, 1990 b¹⁾)**

Verbrennung fossiler Brennstoffe . .	21
Verbrennung von Biomasse	5,5±3
Flugverkehr (in der Troposphäre) . .	0,6
Mineraldüngung	2 ±1 ¹⁾
Wirtschaftsdüngung (Gülle)	2 ±1 ¹⁾
Summe	31 ±5

Untersuchungen lassen bisher kaum verlässliche großräumige Aussagen zu einer quantitativen Abschätzung der NO_x-Freisetzung aus Böden bzw. des Einflusses der Landbewirtschaftung oder der Stickstoffdüngung zu.

Nach ersten Abschätzungen trägt die mineralische Stickstoffdüngung weltweit mit etwa ein bis drei Mio. t NO_x-gebundenem Stickstoff/Jahr zu den globalen NO_x-Emissionen bei. Etwa die gleiche Menge wird weltweit durch die mikrobielle Zersetzung von Gülle und Harnstoff aus Wirtschaftsdüngern freigesetzt. 4 bis 10 Mio. t NO_x-gebundener Stickstoff werden bei der Biomasseverbrennung (Brandrodung, Brennholznutzung, etc.) emittiert (EK, 1990 b).

2.4.4 Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (NMHC)

Die NMHC sind Verbindungen aus Kohlenstoff, Wasserstoff und teilweise auch Sauerstoff und Halogen (gesättigte und ungesättigte Kohlenwasserstoffe, Alkohole, Ester, Ether, Carbonylverbindungen, Furane und teilhalogenierte Verbindungen). Sie werden auch als flüchtige organische Kohlenstoffverbindungen (VOC) bezeichnet. In der Atmosphäre sind bisher mehr als tausend verschiedene Kohlenwasserstoffe nachgewiesen.

Die NMHC entstehen vor allem bei der unvollständigen Verbrennung fossiler Energieträger. Eine Viel-

Tabelle 2.37

**Schätzwerte für die biogenen und anthropogenen NMHC-Emissionen
in Deutschland (Alte Bundesländer und Neue Bundesländer)
und Europa für das Jahr 1985 (in 1000 t/Jahr) (Hahn u. a., 1994)**

Region	Landwirtschaft			Wald	anthropogene Emissionen (alle Sektoren)
	Maschinen/ Traktoren	Biomasse- verbrennung	Nutz- pflanzen		
Deutschland	14	—	12	635	3 200
Europa	150 ¹⁾	868 ³⁾	90 ²⁾	4 420 ²⁾	11 100 ²⁾

¹⁾ OECD-Europa

²⁾ EU-Europa

³⁾ Kontinental-Europa

zahl von NMHC wird aber auch, bzw. nur aus biogenen Quellen emittiert. Aus dem Meerwasser werden beispielsweise Ethen, Propen, Ethan und Propan freigesetzt. Zahlreiche NMHC werden von Pflanzen freigesetzt. Isopren wird vor allem durch Sträucher und Laubbäume, verschiedene Terpene vorwiegend durch Koniferen gebildet und emittiert.

Schätzwerte für die NMHC-Emissionen aus der Landwirtschaft und Wäldern sind für Deutschland (ABL u. NBL) und Europa im Vergleich zu den gesamten anthropogenen Emissionen in Tab. 2.37 zusammengefaßt. Die Angaben für den Sektor Landwirtschaft stellen aufgrund der unzureichenden Datenbasis nur grobe Näherungswerte dar.

Die Emissionsrate von Isopren und den verschiedenen Terpenen wird weltweit auf etwa 1 000 Mio. t/Jahr geschätzt. Die anthropogene Emission von NMHC in die Atmosphäre dürfte gegenwärtig bei etwa 100 Mio. t/Jahr liegen (EK, 1990 b).

2.4.5 Gasförmige Schwefelverbindungen

Gasförmige Schwefelverbindungen gelangen vor allem durch die Verbrennung fossiler Energieträger in die Atmosphäre. Hierbei entstehen weltweit etwa 70 Mio. t Schwefel, vor allem als Schwefeldioxid (SO_2). Bei der Verbrennung von Biomasse werden weltweit etwa 2,5 Mio. t Schwefel (v.a. SO_2) freigesetzt. Durch vulkanische Aktivitäten gelangen weitere 11 Mio. t Schwefel (v.a. SO_2) in die Atmosphäre (IPCC, 1992).

Die wichtigste klimawirksame Schwefelverbindung ist Dimethylsulfid (DMS). DMS wird insbesondere durch das Phytoplankton in den Weltmeeren gebildet und stellt in der marinen Troposphäre Kondensationskerne für Wolkentröpfchen dar. Weltweit gelangen etwa 16 Mio. t Schwefel (v.a. DMS) aus dem Meer in die Atmosphäre (IPCC, 1992). Carbonylsulfid (COS) ist in der Stratosphäre an der Bildung der Sulfat-Aerosole beteiligt, die den Strahlungshaushalt und

den stratosphärischen Ozonabbau beeinflussen (Rennenberg, 1994).

Einige landwirtschaftlich wichtige Pflanzen und verschiedene Bodenmikroorganismen sind ebenfalls in der Lage, flüchtige reduzierte Schwefelverbindungen, vor allem Schwefelwasserstoff (H_2S), Dimethylsulfid (DMS) und Carbonylsulfid (COS) zu produzieren und in die Atmosphäre abzugeben (Rennenberg, 1994). Böden und Pflanzen setzen weltweit etwa 1 Mio. t Schwefel (v.a. DMS und H_2S) frei (IPCC, 1992).

Quantitative Aussagen zur Emission flüchtiger Schwefelverbindungen aus Pflanzen und Böden terrestrischer Ökosysteme bzw. aus der Landwirtschaft sind jedoch extrem unsicher. Die Emissionen werden von zahlreichen Faktoren beeinflusst und die Quellen sind äußerst inhomogen verteilt. Die derzeit verfügbaren Daten weisen Schwankungen in den Emissionsraten von 0,002 bis 1,5 g $\text{S/m}^2 \times \text{Jahr}$ auf (Kesselmeier, 1991, In: Rennenberg, 1994). Messungen der Schwefel-Emissionsraten aus Agrarökosystemen weisen eine Schwankungsbreite von 0,002 bis 0,273 g $\text{S/m}^2 \times \text{Jahr}$ auf (Aneja u. Cooper, 1989, In: Rennenberg, 1994). Eine zuverlässige Abschätzung der Quellstärke der Biosphäre bzw. der landwirtschaftlicher Ökosysteme auf der Basis der publizierten Daten ist nicht möglich (Rennenberg, 1994).

Neben den direkten Emissionen aus den Agrarökosystemen ist die Landwirtschaft indirekt an weiteren Schwefelemissionen beteiligt

- durch ihren Anteil an den Schwefeldioxidemissionen (SO_2) aus der Verbrennung fossiler Energieträger,
- durch die Anwendung schwefelhaltiger Düngemittel,
- durch die Eutrophierung küstennaher Gewässer, die zu einer gesteigerten COS- und DMS-Bildung durch Algen und Phytoplankton führt.

3. Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Landwirtschaft

Die Landwirtschaft trägt in erheblichem Umfang zur Emission klimawirksamer Spurengase bei. Zugleich stellt sie neben der Forstwirtschaft den Wirtschaftsbeereich dar, der am deutlichsten von Klimaänderungen betroffen sein wird. Eine Veränderung des physikalischen Klimas (Temperatur, Niederschlag etc.) und eine veränderte chemische Zusammensetzung der Atmosphäre beeinträchtigen physiologische Vorgänge bei Pflanzen und Tieren und können nach den bisherigen Erkenntnissen zu sinkenden Erträgen und damit zu einer Gefährdung der Ernährung einer wachsenden Weltbevölkerung führen.

Die klimatischen Faktoren beeinflussen die biologischen, chemischen und physikalischen Vorgänge

innerhalb der Agrarökosysteme und in deren Umgebung auf vielfältige Weise und durch zahlreiche Wechselwirkungen. Hierzu gibt es eine Vielzahl von wissenschaftlichen Untersuchungen, die sich meist mit sehr speziellen Aspekten innerhalb dieses Wirkungsgeflechtes auseinandersetzen. Zahlreiche Wechsel- und Nebenwirkungen müssen jeweils unbeachtet bleiben, da in einer Untersuchung meist nur einzelne Faktoren verändert werden können. Aufgrund dessen sind die jeweiligen Ergebnisse prinzipiell nur unter den jeweiligen Versuchsbedingungen gültig und nicht ohne weiteres (auf Freiland-/Anbaubedingungen) übertragbar. Gleichwohl sind Intensivierungen dieser Arbeiten notwendig, um ein tieferes Verständnis von den Wirkungen der klimatischen

Faktoren auf die Agrarökosysteme und deren Subsysteme zu erlangen.

Das zweite und eher noch größere Problem bei der Prognose der Auswirkungen ist derzeit das Fehlen verlässlicher regionaler Vorhersagen zur Klimaänderung (Abschnitt A, Kap. 1.4 bis 1.6). Daher werden im folgenden die generellen Wirkungen einzelner klimatischer Faktoren und die Folgen ihrer Veränderung beschrieben. Da sich die Wirkungen der verschiedenen klimatischen Faktoren häufig gegenseitig verstärken oder auch aufheben können (synergistische und antagonistische Wirkungen) und sich die verschiedenen Kulturarten und -sorten in ihrer Reaktion unterscheiden, sind meist nur tendenzielle, qualitative Aussagen möglich. Bisherige Angaben basieren auf einzelnen Versuchen, Modellrechnungen und Abschätzungen und können daher nicht auf andere Regionen übertragen oder sogar global hochgerechnet werden. Bereits heute belegen jedoch die überwiegend negativen Ergebnisse, daß es weltweit kaum „Gewinner“ künftiger Klimaänderungen geben wird.

3.1 Auswirkungen auf den Pflanzenanbau

3.1.1 Wirkungen von klimatischen Faktoren auf Pflanzen

3.1.1.1 Strahlung

Die einfallende Sonnenstrahlung liefert die Lichtenergie für die Photosynthese. Diese Strahlungsenergie ist für einen bestimmten Ort an der Erdoberfläche langfristig als relativ konstant anzusehen. Neben den regelmäßigen tages- und jahreszeitlichen Schwankungen wird die einfallende Strahlungsmenge von den aktuellen Bewölkungsverhältnissen bestimmt. Die Intensivierung des hydrologischen Zyklus führt durch die zunehmende Verdunstung zu einer Zunahme der Wolkenbildung. Dieses hat tendentiell die Verminderung der den Pflanzen zur Verfügung stehenden Lichtenergie zur Folge.

Durch den globalen Temperaturanstieg verschieben sich die Anbau- und Vegetationszonen polwärts. In höheren Breiten erhalten die Pflanzen grundsätzlich weniger Sonnenstrahlung (geringere Intensität, kürzere Vegetationsperiode) (EK, 1992). Bestimmte Vorgänge während der Entwicklung einiger Pflanzen werden durch die Tageslänge gesteuert, beispielsweise der Übergang von der vegetativen Wachstumsphase in die generative Phase mit der Blüten- und Samenbildung. Von den niederen Breiten zu den höheren Breiten hin unterliegt die Tageslänge einem zunehmend ausgeprägten Jahresgang. Der Sommertag ist länger, der Wintertag kürzer als in niederen Breiten. Hiervon können photoperiodische Steuerungsvorgänge (Kurztag-/Langtag-Reaktionen) innerhalb der Pflanzen beeinflusst werden.

Bei der Betrachtung der Wirkungen des Lichtes auf das Pflanzenwachstum spielt auch die jeweilige Temperatur eine wesentliche Rolle. Durch den allgemeinen Temperaturanstieg bzw. die polwärtige Verlagerung der Anbauzonen wird den Pflanzen tendentiell bei steigenden Temperaturen gleichviel bzw. weniger Licht zur Verfügung stehen. Bei gleichbleibender Beleuchtungsstärke führt ein Temperaturanstieg über die pflanzenspezifische Optimaltemperatur hinaus zu verringerter Biomassebildung. Generell können Pflanzen eine höhere Umgebungstemperatur nur in eine verstärkte Biomassebildung umsetzen, wenn gleichzeitig auch die Beleuchtungsstärke ansteigt und alle anderen Wachstumsfaktoren (Wasser, Nährstoffe etc.) nicht limitiert sind.

Hier gilt — ebenso wie bei allen anderen Wachstums- und Ertragsfaktoren — das Gesetz des Minimums bzw. des Optimums. Justus von Liebig formulierte 1855 das Gesetz des Minimums: „Die Höhe des Ertrages . . . steht im Verhältnis zu demjenigen zur völligen Entwicklung der Pflanze unentbehrlichen Nährstoff, welcher im Boden in kleinster Menge (in minimo) vorhanden ist.“ Diese Vorstellung wurde von E. Liebscher (1895) dahin gehend ergänzt, daß die Wirkung des Minimumfaktors von dem optimalen und ausgewogenen Vorhandensein aller anderen Produktions- bzw. Wachstumsfaktoren abhängt. E. Wollny (1897/98), der sich mehr mit den Wirkungen klimatischer Faktoren befaßte, formulierte darauf aufbauend das Gesetz des Optimums, das besagt, daß die ertragssteigernde Wirkung eines Faktors von seinem Minimum bis zu seinem Optimum zunimmt, um anschließend wieder abzufallen (Klapp, 1967).

3.1.1.2 Temperatur

Die Temperatur und der Bodenwassergehalt beeinflussen alle Wachstums- und Entwicklungsvorgänge und bestimmen maßgeblich die Anbauwürdigkeit und Ertragsleistung aller Kulturarten. Durch die prognostizierte Temperaturerhöhung können art- oder sortenspezifische physiologische Wachstumsgrenzen überschritten werden. Dies gilt sowohl für die räumlichen und zeitlichen Mittelwerte der klimatischen Faktoren, insbesondere aber für die neuen Extremwerte. In Abb. 3.1 ist der prinzipielle Einfluß der Temperatur auf die Primärproduktion der Pflanzen dargestellt. Im Bereich des arten- und sortenspezifischen Temperaturoptimums ist der Temperatureinfluß auf die Photosyntheseleistung (Bruttoprimärproduktion) der Pflanzen relativ gering (Geisler, 1980). Die Photosynthese hängt dann weitaus stärker von der Absorption der photosynthetisch aktiven Strahlung und der aktuellen Wasserbilanz der Pflanzen ab (Esser, 1990). Mit steigender Temperatur erhöht sich dagegen die Atmung (Respiration) überproportional gegenüber dem Anstieg der Photosynthese, bis ein artspezifischer Maximalwert erreicht ist, ab dem sie steil abfällt (Larcher, 1973, Esser, 1989). Die Differenz aus Bruttophotosynthese und Atmung, die Nettophotosynthese (Nettoprimärproduktion bzw. NPP) (schraffiertes Feld in Abb. 3.1), nimmt daher bei Überschreiten des Temperaturoptimums unter sonst gleichen Bedingungen mit steigenden Temperaturen ab.

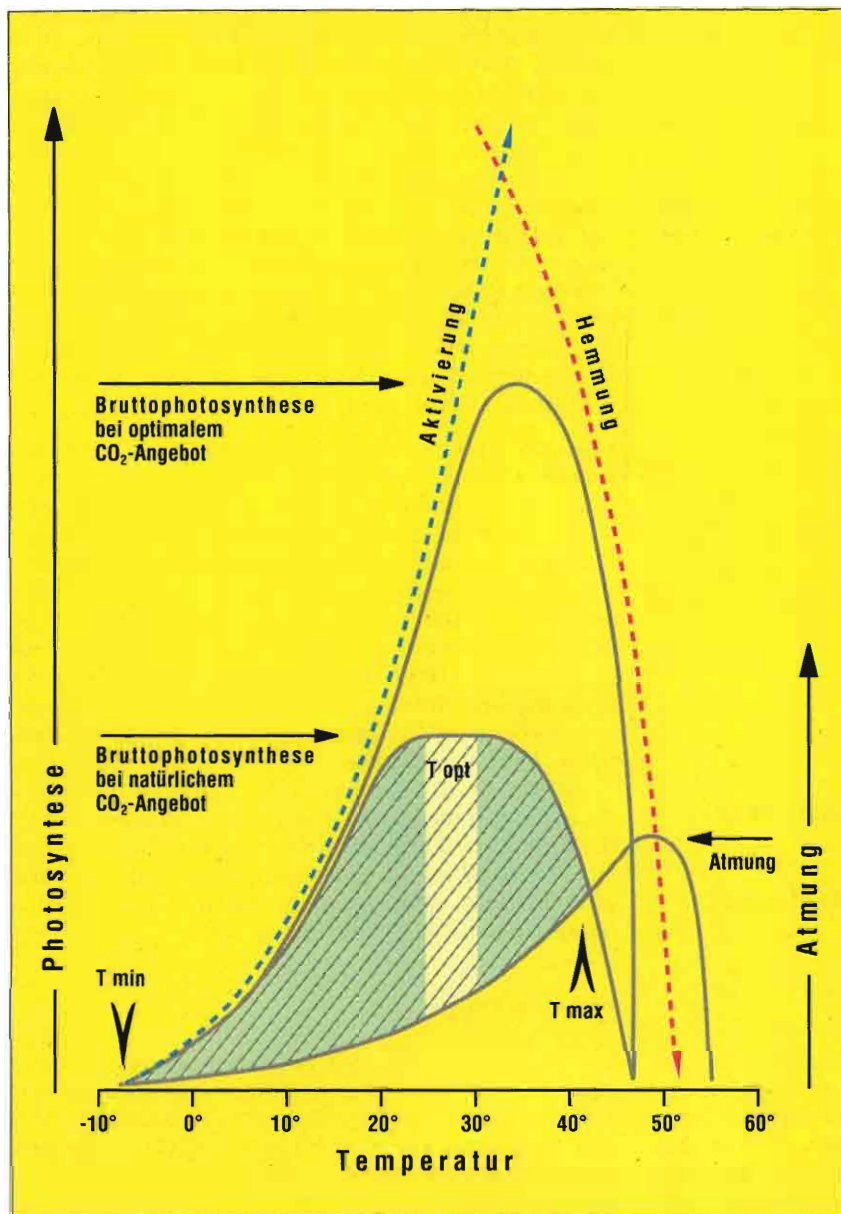


Abbildung 3.1: Schema der Temperaturabhängigkeit von Photosynthese und Atmung (Larcher, 1973).

Der Treibhauseffekt führt nicht zu einem gleichmäßig über den Tagesgang verteilten Temperaturanstieg. Die Maximaltemperaturen, die im allgemeinen am Tage erreicht werden, haben sich bisher relativ wenig verändert. Die Minimaltemperaturen in der Nacht sind dagegen über den Landflächen der mittleren Breiten der Nordhemisphäre signifikant angestiegen (Karl u. a., 1991). Mit dem Anstieg der Nachttemperaturen erhöhen sich insbesondere die nächtlichen Atmungsverluste der Pflanzen (FAO, 1990).

Die Ertragsleistung einer Pflanze wird neben der Nettoprimärproduktion von zwei weiteren Faktoren bestimmt:

- die durchschnittliche Wachstumsrate, also die Trockenmassezunahme in einer Zeiteinheit;
- die Phasendauer, also die notwendige Zeit zwischen zwei Entwicklungsstadien der Pflanze.

Der Einfluß der Temperatur auf die Wachstumsdauer und die Wachstumsrate ist in Tab. 3.1 dargestellt. Steigende Temperaturen beschleunigen die Entwicklung und verkürzen die Phasendauer. Die Phasendauer wurde hier gemessen als die Anzahl der Tage vom Auflaufen bis zum Schossen bzw. Blühbeginn. Die Wirkung steigender Temperaturen nimmt bis zum Erreichen einer Mindestphasendauer stetig ab.

Tabelle 3.1

**Einfluß der Temperatur auf die Wachstumsdauer, Wachstumsrate und das Endgewicht
(in Gramm Trockenmasse/Pflanze) verschiedener Kulturpflanzen
(nach van Dobben, 1962; In: Geisler, 1980)**

	Wachstumsdauer			Wachstumsrate			Endgewicht		
	Temperatur in °C								
	10	16	25	10	16	25	10	16	25
Sommerroggen	82	51	37	22	14	13	8,8	4,6	4,1
Sommerweizen	129	70	57	32	22	20	16,2	11,1	7,3
Sommergerste	99	63	52	20	12	11	12,0	6,8	5,4
Hafer	115	68	50	23	20	18	16,2	9,8	7,4
Erbsen	86	52	37	42	27	23	4,9	3,2	2,0
Flachs	100	65	50	27	23	20	3,2	2,2	1,7
Mais	—	87	50	—	19	9	—	13,7	35,2
Phaseolus-Bohne	—	46	24	—	33	15	—	3,7	4,9

Die Wachstumsdauer wurde gemessen als die Anzahl der Tage vom Auflaufen bis zum Schossen bzw. Blühbeginn. Die Wachstumsrate wurde gemessen als die Anzahl der Tage, die vor dem Schossen bzw. Blühbeginn zur Verzehnfachung der Pflanzentrockenmasse notwendig waren.

Danach bleibt ein weiterer Temperaturanstieg wirkungslos. Im Bereich des pflanzenspezifischen Temperaturoptimums erhöht sich mit steigender Temperatur die Wachstumsrate, die hier gemessen wurde als die Anzahl der Tage, die vor dem Schossen bzw. Blühbeginn zur Verzehnfachung der Pflanzentrockenmasse notwendig waren.

Die Wachstumsdauer bestimmt die Produktionsleistung der Pflanzen stärker als die Wachstumsrate. Eine längere Wachstumsdauer ermöglicht insgesamt eine höhere Gesamtassimilatproduktion (Summe der bei der Photosynthese gebildeten Kohlenhydrate) und dadurch höhere Erträge (Geisler, 1980). Bei den meisten Kulturarten wirken sich daher niedrigere Temperaturen generell günstiger auf die Ertragsleistung aus als höhere (Santer, 1984). Eine Ausnahme bilden hier ausgesprochen wärmeliebende, angepaßte Kulturarten wie die Phaseolus-Bohne und der Mais. Dies gilt jedoch nur, solange diese Arten nicht in niederen Breiten angebaut werden, aus denen sie ursprünglich stammen, sondern in den gemäßigten Breiten. Bei einem Anbau in niederen Breiten mit entsprechend höheren Temperaturen wird der beschriebene Effekt sinkender Erträge bei höherer Wachstumsrate und kürzerer Wachstumsdauer auch bei diesen wärmeliebenden Pflanzen eintreten.

Eine andere mögliche negative Wirkung steigender Temperaturen tritt bei vernalisationsbedürftigen Pflanzen ein. Vernalisation ist ein pflanzenart- oder sortenspezifisch notwendiger Entwicklungsreiz durch eine niedrige Temperatur während eines bestimmten Zeitraums. Solche Kältereize können beispielsweise für den Übergang der Pflanze von der vegetativen in

die generative Phase (Blütenbildung) oder für die Keimung des Saatgutes (Stratifikation) notwendig sein. Bei zunehmender Erwärmung ist dieser Kältereiz nicht mehr ausreichend gewährleistet.

Des weiteren kann es bei überhöhten Temperaturen zur bleibenden Schädigungen der Pflanzen durch Schädigung von Zellmembranen und Denaturierung (irreversible Veränderungen) pflanzlicher Eiweißverbindungen kommen. Höhere Temperaturen und eine entsprechend steigende Transpiration führen zu vorübergehenden Welkeerscheinungen und vorzeitigem Laubfall. Verbrennungen an Blättern, Farbveränderungen und absterbende Gewebeteile an Früchten sind weitere Symptome von zu hohen Temperaturen.

Die Wirkung hoher Temperaturen (oberhalb des spezifischen Temperaturoptimums) auf Pflanzen unterliegt dem Dosis-Wirkungsgesetz, d. h. daß der schädigende Effekt einer geringeren Dosis über einen längeren Zeitraum dem Effekt einer einmaligen hohen Dosis gleichkommt. Die prognostizierte mäßige Erhöhung der Temperatur wirkt daher möglicherweise ebenso schädlich wie kurz einwirkende, große Hitze (Wetterextreme) (Hoffmann u. a., 1985).

Die Assimilatproduktion ist wesentlich von der verfügbaren Lichtenergie sowie der Größe und Lebensdauer der Blattfläche (Absorptions- bzw. Assimilationsfläche) abhängig. Diese wiederum ist negativ mit der Temperatur korreliert, da höhere Temperaturen, vor allem in Kombination mit Wassermangel zu frühzeitiger Alterung (Seneszenz) der Blattfläche bzw. der ganzen Pflanzen führen (Mohr und Schopfer, 1978). Nicht nur die Assimilatproduktion, sondern auch der

Nährstoff- und Assimilattransport in der Pflanze ist unter anderem vom Wasserhaushalt und der Umgebungstemperatur abhängig. Alle Stofftransporte in der Pflanze erfolgen in Wasser gelöst mit dem Transpirations- oder Assimilatstrom. Die Transpiration und damit der Stofftransport nehmen bei Temperaturanstieg solange zu, bis Wassermangel aufgrund überhöhter Temperaturen die Transportvorgänge innerhalb der Pflanze einschränkt. Der Turgor (Innendruck der Zellen und des pflanzlichen Gewebes) sinkt und die Blattoffnungen (Stomata) schließen sich teilweise oder ganz. Die CO_2 -Aufnahme der Pflanzen und der Transpirationsstrom in der Pflanze werden reduziert oder sogar unterbrochen.

Steigende Temperaturen verlängern die Vegetationsperiode, so z. B. in Europa um schätzungsweise zehn Tage bei einem Temperaturanstieg um 1°C (Parry, 1990). Soweit Licht, Wasser und Nährstoffe in entsprechender Menge vorhanden sind, kann sich dadurch die Produktivität eines Standortes erhöhen. Zugleich erweitern sich die Anbaumöglichkeiten besonders wärmeliebender Arten und Sorten. Pflanzenspezifische Minimaltemperaturen für die Keimung, die Blütenbildung oder andere Stadien innerhalb der Pflanzenentwicklung werden auch in höheren Breiten eher erreicht bzw. überschritten, zumindest soweit die notwendigen Anbaubedingungen (Bodenqualität, Licht, Wasser, Nährstoffe etc.) gegeben sind. Die prognostizierte Zunahme extremer Wetterereignisse schränkt den erweiterten Spielraum jedoch möglicherweise wieder ein, da häufiger Früh- oder Spätfroste und andere Wetterextreme auftreten werden. Durch einen Temperaturanstieg werden zudem die Anbaumöglichkeiten in niederen Breiten zunehmend eingeschränkt oder zumindest die Erträge deutlich reduziert, da hier vielfach das pflanzenspezifische Temperaturoptimum bereits erreicht oder sogar überschritten ist. Dies gilt insbesondere für den Reisanbau, der in weiten Teilen der Erde das Hauptnahrungsmittel darstellt (FAO, 1990; Baker u. a., 1992). Die Möglichkeit der Ausweitung der Anbauflächen in höhere Breiten ist fraglich und droht zusätzlich durch den gleichzeitigen Verlust von Anbauflächen (Desertifikation) in niederen Breiten überkompensiert zu werden.

3.1.1.3 Niederschlag

Niederschläge dienen u. a. der Auffüllung der Bodenwasservorräte, aus denen die Pflanzen ihren Wasserbedarf decken. Die enge Wechselbeziehung zwischen Niederschlag, Temperatur, Bodenwassergehalt und Pflanzenwachstum wird in Kap. 3.1.4 dargestellt.

Bei einer Klimaänderung werden neue Wetterextreme auftreten und die Häufigkeit von Wetterextremen kann zunehmen. Dies bedeutet z. B. heftigere Sommerniederschläge (Starkregen, Hagel, etc.), bei höheren Temperaturen. Durch erhöhten Abfluß heftigerer Niederschläge und Bodenerosion können vor allem Keimpflanzen verschlammten oder entwurzelt werden. Hagel verletzt die Pflanzenoberfläche direkt und erhöht die Infektionsanfälligkeit durch offene Wunden. Die Fläche mit Lagergetreide (Abknicken der Halme) steigt.

Eine geschlossene Schneedecke isoliert und verbessert den Kälteschutz der Pflanzen, andererseits kann eine durch regionale Klimaänderung bedingte höhere Schnee- bzw. Eisbedeckung zu Sauerstoffmangel und Fäulnis durch fehlenden Luftaustausch oder Schnebruch führen.

3.1.1.4 Wind

Die Zunahme der Windgeschwindigkeit und der Sturmhäufigkeit erhöht die Wahrscheinlichkeit von Windbruch, Lagergetreide (Abknicken der Halme), Fruchtfall oder Entwurzelung der ganzen Pflanzen sowie Windschliff durch Sand oder Eiskristalle. Sie erhöht auch das Dampfdruckgefälle zwischen Blattohlräumen und Umgebungsluft, was die Transpiration verstärken und im Extremfall auch zur Austrocknung der Pflanzen führen kann.

Die bisherige allgemeine Darstellung der Einflüsse der verschiedenen klimatischen Faktoren auf das Pflanzenwachstum kann nur einen ersten Überblick über mögliche Auswirkungen geben. Bei der Betrachtung einzelner Pflanzenarten ergibt sich ein weitaus differenzierteres Bild. Verschiedene Arten und auch verschiedene Sorten einer Art haben teilweise sehr spezifische Ansprüche an bestimmte klimatische Faktoren oder zeigen unterschiedliche Reaktionen auf bestimmte klimatische Veränderungen. So lösen höhere Temperaturen bei Reis Pollensterilität aus oder beeinflussen die Blütenbildung und Knollenform bei Kartoffeln (FAO, 1990). Die Fülle aller möglichen Wechselbeziehungen kann hier nicht dargestellt werden und ist bisher auch nur für wenige Kulturarten näher untersucht. Die komplexen Wechselwirkungen zwischen Temperatur und Bodenfeuchte auf die einzelnen Phasen der Pflanzenentwicklung und Ertragsbildung sind am Beispiel einer der bestuntersuchten Kulturarten, dem Winterweizen, an anderer Stelle (Geisler, 1983; Burdick, 1990 und 1994) detailliert dargestellt.

3.1.2 Wirkungen der Zunahme atmosphärischer Spurengase auf Pflanzen

3.1.2.1 Kohlendioxid (CO_2)

Pflanzen nehmen bei der Photosynthese Kohlendioxid auf und bilden hieraus pflanzliche Biomasse. Bei ausreichender Versorgung der Pflanzen mit allen anderen Wachstumsfaktoren (Nährstoffe, Wasser, Licht etc.) ist das Wachstum und der Ertrag durch die CO_2 -Konzentration in der Umgebungsluft begrenzt (Gesetz des Minimums/Optimums). Ein Anstieg der CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre kann unter diesen Umständen — insbesondere bei C_3 -Pflanzen — die Photosyntheserate und dadurch die Biomasseproduktion erhöhen.

Die Landpflanzen werden im wesentlichen in zwei große Gruppen (C_3 - und C_4 -Pflanzen) unterteilt, die sich durch die Art der CO_2 -Fixierung unterscheiden. C_3 -Pflanzen binden das CO_2 an einen Zucker, der fünf Kohlenstoffatome enthält (Ribulose-bi-Phosphat, RuBP). Die entstandene Verbindung mit sechs Koh-

lenstoffatomen zerfällt in zwei Zucker, die aus je drei Kohlenstoffatomen (= C3) aufgebaut sind. C4-Pflanzen binden dagegen das CO₂ zunächst an eine C3-Verbindung (Phosphoenolpyruvat, PEP). In dem so entstandenen C4-Körper (organische Säuren) wird das CO₂ zwischengespeichert und der Photosynthese in einer effizienten Form zugeführt. Diese CO₂-Vorfixierung erfolgt (im Mesophyll) räumlich getrennt von der eigentlichen Kohlenhydratsynthese (Assimilatbildung) in den Bündelscheidenzellen. Neben C3- und C4-Pflanzen gibt es noch die kleine Gruppe der CAM-Pflanzen (Crassulaceen u. a.), bei denen unter Trockenstressbedingungen die CO₂-Fixierung nachts durch Anreicherung organischer Säuren und die Kohlenhydratsynthese tagsüber bei geschlossenen Stomata erfolgt. Dies stellt eine Anpassung an besonders trockene Standorte dar. Wichtige C3-Kulturarten sind Reis, Weizen, Gerste, Kartoffeln und Bohnen, wichtige C4-Pflanzen sind Mais, Hirse und Zuckerrohr. Die Mehrzahl aller Kulturarten gehören zu den C3-Pflanzen. In Europa beträgt ihr Anteil an der Pflanzenproduktion über 90 %.

Das Schlüsselenzym bei der CO₂-Fixierung der C3-Pflanzen ist die Ribulose-bi-Phosphat-Carboxylase/Oxygenase (Rubisco), um deren Bindungsstelle CO₂ und O₂ konkurrieren. Für die Wirkungsweise der Rubisco ist das CO₂:O₂-Verhältnis in den Chloroplasten (Zellorgane der Photosynthese) entscheidend. Bei einem abnehmenden CO₂:O₂-Verhältnis wird von der Rubisco zunehmend das Substrat (RuBP) durch Anlagerung von O₂ oxidiert, wobei CO₂ entsteht und abgegeben wird (Photorespiration/Lichtatmung).

Diese Lichtatmung addiert sich zu der normalen Atmung (Dunkelatmung in den Mitochondrien) und verschlechtert daher die Bilanz aus Bruttphotosynthese und Atmung: Die Nettophotosynthese nimmt ab. Da ein Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre das CO₂ : O₂-Verhältnis in der Pflanze erhöht, werden die Verluste durch Lichtatmung verringert und dadurch die Nettophotosynthese gesteigert. Im Gegensatz dazu erfolgt die CO₂-Vorfixierung bei den C4-Pflanzen über ein anderes Schlüsselenzym, die PEP-Carboxylase, die im Vergleich zur Rubisco eine höhere Affinität für CO₂ aufweist. Das durch die Lichtatmung innerhalb der C4-Pflanzen gebildete CO₂ verläßt die Pflanze nicht, sondern wird direkt von der PEP-Carboxylase wieder fixiert und der Kohlenhydratsynthese zugeführt. Durch die räumliche Trennung von CO₂-Fixierung und Kohlenhydratsynthese sowie aufgrund ihrer Enzymausstattung (PEP-Carboxylase) verfügen die C4-Pflanzen bei heutigen CO₂-Gehalten in der Luft im Vergleich zu C3-Pflanzen über einen effektiven Mechanismus der internen CO₂-Anreicherung. Dies bedeutet gleichzeitig, daß bei künftig steigender CO₂-Konzentration in der Luft bei C4-Pflanzen eine wesentlich geringere Zunahme der Nettophotosynthese und der Biomasseproduktion zu erwarten ist, als bei den meisten C3-Pflanzen (Abb. 3.2).

Die fördernde Wirkung des CO₂-Anstiegs ist — arten- und sortenabhängig — für eine Reihe meist annueller (einjähriger) landwirtschaftlicher Nutzpflanzenarten experimentell belegt. Aus den vorliegenden Experimenten leitet man im Falle einer CO₂-Verdopplung

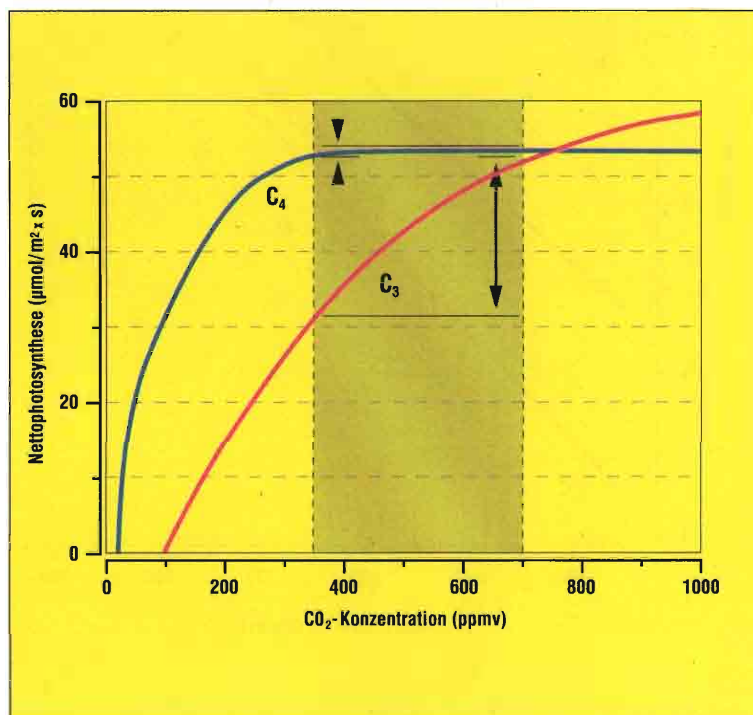


Abbildung 3.2: Nettophotosyntheserate bei C3- und C4-Pflanzen in Abhängigkeit von der CO₂-Konzentration in der Umgebungsluft (Taiz und Zeiger, 1991; In: Rogers u. a., 1994)

eine mittlere Ertragszunahme von 33 % bei C3-Pflanzen und 10 % bei C4-Pflanzen ab (Rogers u. a., 1992). Mittelfristig — etwa im Laufe der nächsten 50 bis 60 Jahre — wird eine Zunahme der atmosphärischen CO_2 -Konzentration auf etwa 480 ppmv CO_2 erwartet, so daß mit einem geringeren Ertragszuwachs als bei CO_2 -Verdopplung zu rechnen ist.

Verschiedene Gruppen von Pflanzen reagieren mit einer unterschiedlich starken Biomassezunahme auf einen CO_2 -Anstieg:

- Krautige C3-Kulturpflanzen reagieren stärker als C3-Wildkräuter;
- schnellwachsende Pflanzen reagieren stärker als langsamwachsende Arten;
- C3-Leguminosen reagieren stärker als andere C3-Pflanzen;

— Dikotyledonen (zweikeimblättrige Pflanzen, i. d. R. Kräuter) reagieren stärker als Monokotyledonen (einkeimblättrige Pflanzen, i. d. R. Gräser) (Poorter, 1993).

Neben den Wirkungen auf Photosynthese und Stoffproduktion wurde im einzelnen die Zunahme der Blattdicke und -größe sowie der Zahl und Größe der Blüten und Früchte festgestellt. Verschiedene Untersuchungen belegen eine Veränderung der Zahl bzw. Dichte der Stomata je Blattfläche (Woodward, 1987). Bei Getreide steigt die Zahl der Triebe und Körner je Pflanze. Auch eine deutliche, häufig sogar überproportionale Zunahme des Wurzelwachstums ist belegt. Das stärkere Sproß- und vor allem Wurzelwachstum bindet mehr Kohlenstoff und hinterläßt mehr organische Rückstände im Boden (stärkere Humusbildung). Das größere Wurzelsystem kann zudem mehr Nährstoffe und Wasser erschließen und der Pflanze zuführen.

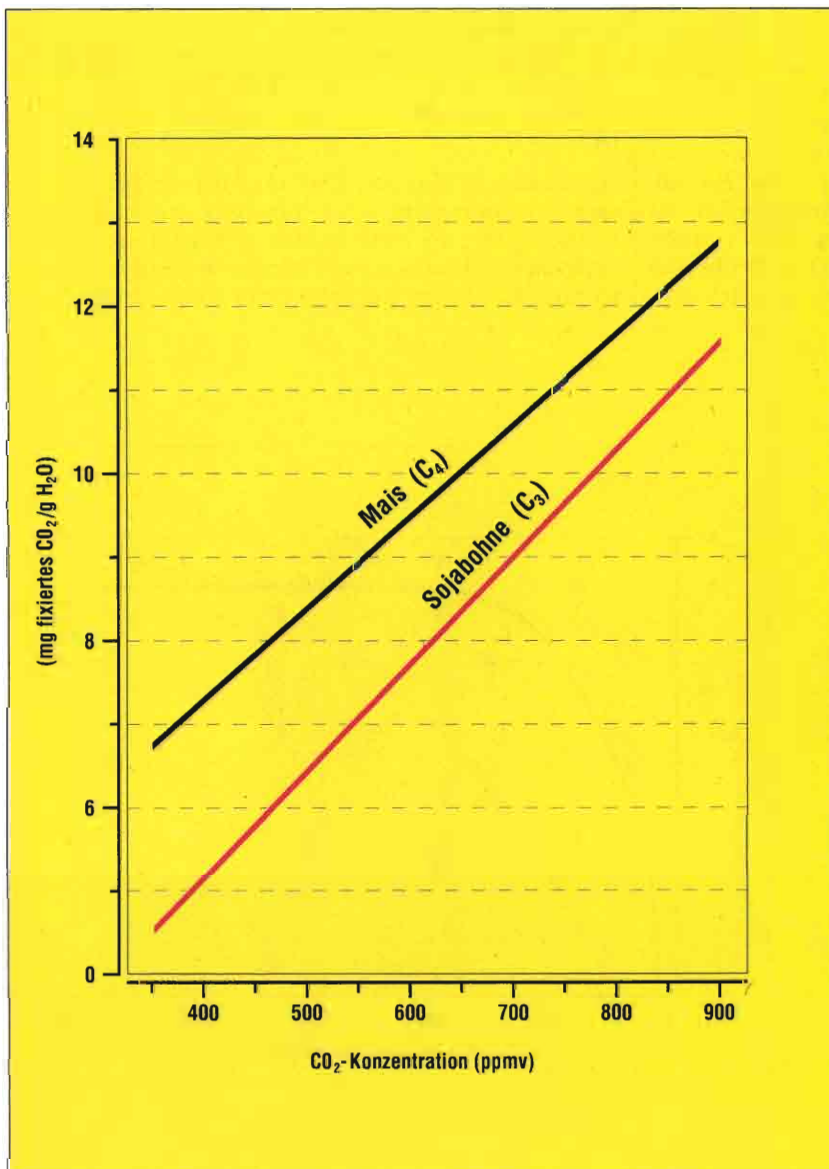


Abbildung 3.3: Wassernutzungseffizienz von C3- und C4-Pflanzen bei steigendem CO_2 -Gehalt in der Umgebungsluft (Rogers u. a., 1994).

ren (Bazzaz u. Fajer, 1992). Weitere Wirkungen eines CO₂-Anstieges sind zusammenfassend in Tab. 3.2 dargestellt.

Aufgrund der oben beschrieben internen CO₂-Anreicherung weisen C4-Pflanzen bei einer geringeren Öffnungsweite der Stomata und damit verringerter Transpiration eine höhere Photosyntheserate als C3-Pflanzen auf. Daher nutzen sie das zur Verfügung stehende Wasser effizienter und sind besser an aride und semiaride (trockene) Standorte angepaßt. Ein Anstieg der CO₂-Konzentration führt zu einer zusätzlichen Steigerung der Wassernutzungseffizienz (Abb. 3.3).

Bei steigendem CO₂-Gehalt der Luft können auch die C3-Pflanzen ihre Stomata teilweise geschlossen halten. Die Pflanzen nehmen dennoch die gleiche Menge CO₂ auf, verdunsten dabei aber weniger Wasser (Abb. 3.3). Der erhöhte Wasserausnutzungsgrad ermöglicht den Pflanzen daher bei abnehmendem Bodenwassergehalt eventuell eine gleichbleibende Biomasseproduktion. Bei einer Verdopplung der CO₂-Konzentration in der Umgebungsluft kann die Transpiration einzelner Blätter um 30 bis 40 % verringert sein (Kimball und Idso, 1983). Aus einer geringeren Transpiration einzelner Blätter kann aber nicht zwanglos auf eine geringere Transpiration eines Pflanzenbestandes geschlossen werden. Wenn durch eine CO₂-Verdopplung die Biomasseproduktion und somit die Gesamtblattfläche zunehmen, kann der Gesamtwasserverbrauch bezogen auf die Bodenfläche sogar ansteigen, insbesondere wenn gleichzeitig eine Erhöhung der Lufttemperatur stattfindet (Morrison, 1992). Zusammen mit einer steigenden Verdunstungsrate am Boden (Evaporation) führt dieser Prozeß zu einer Abnahme der Bodenfeuchtigkeit, die sich wiederum negativ auf das Wachstum der Pflanzen auswirken kann.

Durch eine CO₂-bedingte Verringerung der Stomataöffnung wird gleichzeitig die Aufnahme potentiell phytotoxischer Gase (Luftschadstoffe wie SO₂, O₃) reduziert. Denkbar ist auch ein erschwertes Eindringen von Schaderregern (z. B. Pilzinfektionen) über die Stomata.

Durch eine vermehrte CO₂-Aufnahme der Pflanzen bei gleichbleibendem Stickstoffangebot ändert sich das Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis in der Pflanzensubstanz. Der relative Kohlenstoffgehalt der Pflanzensubstanz steigt und der Stickstoffgehalt sinkt. Damit verschiebt sich auch das Verhältnis von Kohlenhydrat- und Proteingehalt. Ein geringerer Proteingehalt verringert den Nährwert der Pflanzensubstanz für die menschliche und tierische Ernährung. Es gibt aber auch pflanzliche Produkte (Braugerste, Zuckerrüben), bei denen ein geringer Stickstoffgehalt durchaus erwünscht ist. So wird eine Begasung mit CO₂ im Unterglasgemüsebau bereits seit langem zur Ertragssteigerung eingesetzt und führt dort gleichzeitig zu niedrigeren Nitratgehalten im Gemüse (Lenz, 1991). Durch eine höhere Nettophotosynthese erhöht sich das Angebot und die Verfügbarkeit von Kohlenhydraten für Organismen, die mit den Pflanzen in Symbiose leben (stickstofffixierende Knöllchenbakterien, Mycorrhizapilze). Dies ist gleichzeitig der Grund dafür,

daß Leguminosen (Hülsenfrüchte) von einem CO₂-Anstieg besonders profitieren.

Trotz der großen Zahl von experimentellen Untersuchungen, die eine positive Wirkung einer höheren CO₂-Konzentration in der Umgebungsluft auf die Photosyntheserate und die Biomassebildung belegen, gibt es zugleich erhebliche Kritik an der Aussagekraft bzw. Übertragbarkeit dieser Ergebnisse im Hinblick auf eine Abschätzung des künftigen Ertragspotentials in der Landwirtschaft. In mehr als 80 % der Versuche wurden lediglich Kurzzeitmessungen der Photosyntheserate über Stunden, Tage oder wenige Wochen durchgeführt, während kaum Untersuchungen über den gesamten Entwicklungsverlauf von Pflanzen vor-

Tabelle 3.2

**Direkte Wirkungen einer CO₂-Verdopplung
(nach Krupa und Kickert, 1993)**

Wirkungsort bzw. -größe	Direkte Wirkung einer CO ₂ -Verdopplung
Photosyntheserate	Bei C3-Pflanzen deutlich, C4-Pflanzen kaum gefördert
Stomataöffnung	Verringert bei C3- und C4-Pflanzen
Wasserausnutzung	Erhöht bei C3- und C4-Pflanzen
Blattfläche	Bei C3-Pflanzen stärker vergrößert als bei C4-Pflanzen
Blattgewicht	Erhöht bei C3- und C4-Pflanzen
Pflanzenreife	Beschleunigt bei C3- und C4-Pflanzen
Blüte	Früheres Blühen bei C3- und C4-Pflanzen
Trockenmasseproduktion und Ertrag	Bei C3-Pflanzen deutlich, C4-Pflanzen kaum gefördert
Artunterschiede in der Pflanzenreaktion	Deutliche Unterschiede zwischen C3- und C4-Pflanzen
Unterschiede in der Pflanzenreaktion (Sorten einer Art)	Sortenabhängige Unterschiede möglich
Trockenstreß	Geringere Trockenstreßempfindlichkeit der Pflanzen
Nährstoffmangel	Geringere oder keine Reaktion auf CO ₂ -Anstieg

liegen. Viele Pflanzenarten zeigten bereits nach kurzer Zeit nur eine geringe, eine rasch nachlassende oder überhaupt keine Reaktion auf einen CO_2 -Anstieg. Dies kann mehrere Gründe haben:

- Durch die nachlassende Aktivität des Schlüsselenzyms der CO_2 -Fixierung (Ribulose-bi-Phosphat-Carboxylase) kommt es zu einem Engpaß bei der CO_2 -Bindung.
- Durch das genetisch festgelegte oder durch begrenzende äußere Faktoren hervorgerufene Mißverhältnis zwischen der Kohlenhydratsynthese in den Blättern und der Verlagerung der Kohlenhydrate in die Wurzeln, Früchte oder andere Organe (Source-Sink-Mißverhältnis) in der Pflanze kommt es zu einem Kohlenhydratstau. Dieser hemmt wiederum die Enzymaktivität im Zusammenhang mit der Photosynthese in der Pflanze. Die Funktionsfähigkeit der Chloroplasten (Zellorgane der Photosynthese) wird durch eine übermäßige Stärkespeicherung infolge des Kohlenhydratstaus beeinträchtigt. Ein relativer Phosphormangel im Energiestoffwechsel der Pflanzen kann den Kohlenhydrattransport (Assimilattransport) ebenfalls hemmen.

Pflanzen können sich in ihrer Morphologie auch langfristig an die steigende CO_2 -Konzentration anpassen und somit einen möglichen CO_2 -Düngeeffekt reduzieren. Untersuchungen an Bäumen haben ergeben, daß sich in den letzten 200 Jahren — vermutlich bedingt durch die CO_2 -Zunahme in der Atmosphäre — die Zahl der Stomata auf je Blattfläche verringert hat. Dies konnte auch in Gewächshausversuchen bei unterschiedlichen CO_2 -Konzentrationen simuliert werden (Woodward, 1987). Durch eine geringere Zahl von Spaltöffnungen verringert sich trotz steigender CO_2 -Konzentration in der Umgebungsluft der CO_2 -Eintrag in die Blätter.

In zahlreichen bisherigen Versuchen wurde die CO_2 -Konzentration deutlich und abrupt angehoben (z. B. Verdopplung/Verdreifachung). Außerdem wird der Strahlungs- und Wasserhaushalt in den meist verwendeten Expositionssystemen (Klimakammern, Gaswechselküvetten, Gewächshäuser) gegenüber den Freilandbedingungen erheblich verändert. Solche Versuchsbedingungen stellen daher die Aussagekraft der Ergebnisse hinsichtlich der zu erwartenden Wirkung eines CO_2 -Anstiegs in Frage. Die meist monokausale Betrachtung der CO_2 -Wirkung weist zusätzliche Schwächen auf, da mögliche synergistische und/oder antagonistische Wechselwirkungen mit anderen Faktoren unberücksichtigt bleiben. Aufgrund dieser Wechselwirkungen werden potentielle Wachstums- und Ertragssteigerungen durch einen CO_2 -Anstieg (CO_2 -Düngeeffekt) reduziert, möglicherweise sogar überkompensiert:

- Bei steigenden Temperaturen nehmen die Atmungsverluste zu. Höhere Verdunstungsraten und — im Sommer — weitgehend rückläufige Niederschläge führen zu stärkerer Verdunstung durch größere Blattflächen, zu häufigerem Wasserstreß und zu frühzeitiger Alterung der Pflanzen etc. Die Produktivität sinkt (Kap. 3.1.1).

- Synergistische Effekte, wie z. B. die Zunahme der UV-B-Strahlung (Kap. 3.1.3) sowie der Anstieg der Konzentrationen des bodennahen Ozons (Kap. 3.1.2.2) und weiterer Luftschadstoffe beeinträchtigen das Pflanzenwachstum.
- Eine höhere Biomasseproduktion ist nur bei gleichzeitig höherer Nährstoffversorgung bzw. entsprechender Düngung möglich.
- Die veränderten Wirt-Parasit- bzw. Nutzpflanzen-Unkraut-Beziehungen (C_3 -/ C_4 -Konkurrenz) können im Einzelfall sowohl ertragsmindernd, als auch ertragssteigernd wirken (Kap. 3.1.8).

Abschließend bleibt festzustellen, daß die bisher vorliegenden Versuchsergebnisse zu den Wirkungen eines CO_2 -Düngeeffektes in Abhängigkeit von den Versuchsbedingungen und Pflanzenarten teilweise erheblich differieren bis hin zu gegensätzlichen Aussagen. Die Ergebnisse können fast ausnahmslos nicht auf Feldbedingungen und vor allem nicht auf natürliche oder naturnahe Ökosysteme übertragen werden. Das Wachstum und die Produktivität natürlicher und naturnaher Ökosysteme ist im allgemeinen nicht durch die CO_2 -Konzentration der Umgebungsluft, sondern durch andere limitierende Faktoren, z. B. Nährstoffe und Wasser begrenzt. Ein nennenswerter CO_2 -Düngeeffekt wird wahrscheinlich eher in Agrarökosystemen als in natürlichen oder naturnahen Ökosystemen von Bedeutung sein. Durch Düngung und weitere Kulturmaßnahmen versucht man möglichst optimale Wachstumsbedingungen zu schaffen. Je besser dies gelingt, desto eher kann sich ein CO_2 -Anstieg ertragssteigernd auswirken. Diese Auswirkungen auf den Ertrag sind jedoch keineswegs mit dem Effekt zu vergleichen, der bei Nährstoffmangel schon durch geringe Düngergaben erzielt wird (Esser, 1993). Dies gilt insbesondere angesichts des Nährstoffmangels (und zugleich Nahrungsmittelmangels) in der extensiven Landwirtschaft in weiten Teilen der Welt. Langfristige Effekte einer CO_2 -Erhöhung lassen sich derzeit kaum abschätzen. Vermutlich gibt es bei deutlich höheren CO_2 -Konzentrationen keine dauerhaften Wachstumseffekte (Bazzaz, 1993).

3.1.2.2 Troposphärisches Ozon

Aufgrund der steigenden Emission der Vorläufersubstanzen (CO , CH_4 , NO_x , VOC) wird in der Troposphäre bei intensiver Sonneneinstrahlung vermehrt Ozon (O_3) gebildet (Abschnitt A, Kap. 2). Dieses bodennahe Ozon ist in weiten Teilen der Nordhemisphäre gegenwärtig der wichtigste phytotoxische Luftschadstoff.

Ozon wirkt als Zellgift. Es dringt durch die Blattoffnungen in die Blätter ein, schädigt die Zellmembranen und beeinträchtigt die Wasseraufnahme und den Stofftransport innerhalb der Pflanzen. Es führt zum Chlorophyllabbau und mindert die Photosyntheseleistung und das Wachstum der Pflanzen.

Die in Abb. 3.4 dargestellten Wirkungen der Immissionen von Säurebildnern sind ausführlich in Abschnitt C, Kap. 3.5.3 beschrieben.

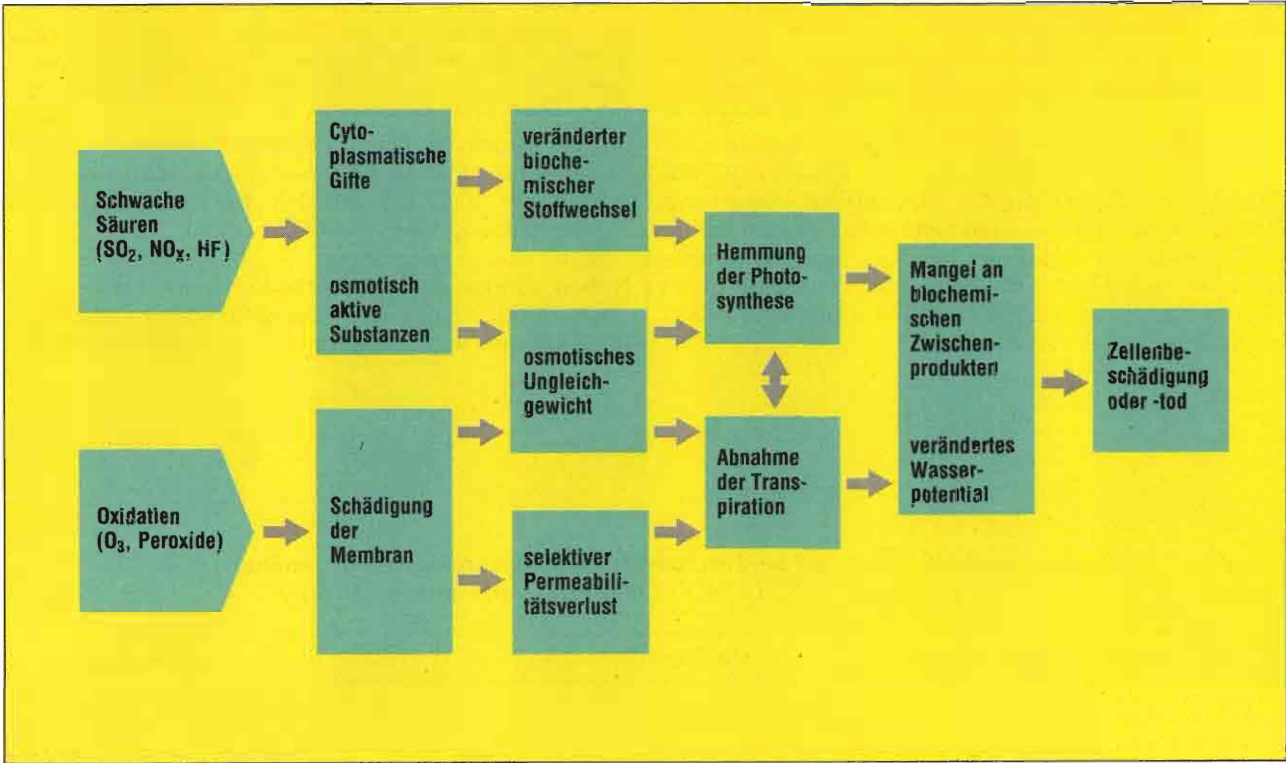


Abbildung 3.4: Schematische Darstellung der Schädigung von Pflanzen durch Immissionen, insbesondere durch troposphärisches Ozon (O₃) (nach Heath, 1980; In: Hoffmann u. a., 1985).

Tabelle 3.3

Maximale Immissionskonzentration für Ozon zum Schutz der Vegetation
(nach Jäger u. a., 1989 und Norm VDI 2310 Bl. 6, 1989; In: Grünhage u. a., 1992)

Organisation	Wert (µg/m³)	Statistische Definition/ Zeitbezug	Organisation	Wert (µg/m³)	Statistische Definition/ Zeitbezug
VDI (1989)	sehr empfindliche Pflanzen		WHO (1987)	terrestrische Vegetation	
	70	8h-Mittelwert		60	Mittelwert Vegetationsperiode
	90	4h-Mittelwert		65	24h-Mittelwert
	110	2h-Mittelwert		200	0,5h-Mittelwert
	160	1h-Mittelwert	UN-ECE (1988)	50	Mittelwert Vegetationsperiode (7h-Mittel; 9.00 bis 15.59h)
	320	0,5h-Mittelwert		empfindliche Pflanzen, Pflanzengemeinschaften, Ökosysteme	
	empfindliche Pflanzen			60	8h-Mittelwert
	160	8h-Mittelwert		80	4h-Mittelwert
	190	4h-Mittelwert		110	2h-Mittelwert
	240	2h-Mittelwert		150	1h-Mittelwert
	320	1h-Mittelwert		300	0,5h-Mittelwert
	480	0,5h-Mittelwert			
	weniger empfindliche Pflanzen				
	320	8h-Mittelwert			
	370	4h-Mittelwert			
	400	2h-Mittelwert			
	480	1h-Mittelwert			
	800	0,5h-Mittelwert			

Die Wirkungen eines Anstiegs der bodennahen Ozonkonzentration auf Pflanzen hängen ab von der Ozonaufnahme in die Pflanze (absorbierte Dosis). Die Ozonaufnahme ist eine Funktion der Ozonkonzentration, der Austauschigenschaften der Atmosphäre (vorwiegend Turbulenz) sowie der art- und sortenspezifischen Senkeneigenschaften der Pflanzen (Grünhage u. a., 1992). Bei den derzeitigen Richt- und Grenzwerten werden weder Austauschigenschaften der Atmosphäre noch Senkeneigenschaften der Pflanzen berücksichtigt, sondern nur Konzentration, Wirkungsdauer und relative Empfindlichkeit der Pflanzen (Tab. 3.3 und Tab. 3.4).

Bei akuter Einwirkung hoher Ozonkonzentrationen können an empfindlichen Pflanzen sichtbare Schäden auftreten. Zu den Schadbildern gehören Blattaufhellungen (Chlorosen), weißliche bis braune Blattflecken (Nekrosen) und abgestorbene Blattbereiche. Bei chronischer Einwirkung niedriger Ozonkonzentration treten verschiedene latente (unsichtbare) Schäden bzw. Wirkungen auf, die letztlich in Ertragsverlusten zutage treten können (Tab. 3.5).

Neben direkten Pflanzenschäden kann Ozon eine erhöhte Anfälligkeit der Pflanzen für weitere biotische (Krankheiten und Schädlinge) und abiotische (Wet-

Tabelle 3.4

Relative Empfindlichkeit von landwirtschaftlichen Kulturpflanzen gegenüber Ozon
(nach Norm VDI 2310 Bl. 6, 1989; In: Grünhage u. a., 1992)

sehr empfindliche Pflanzenarten	empfindliche Pflanzenarten	weniger empfindliche Pflanzenarten
Allium cepa (Zwiebel)	Brassica oleracea (Kohl)	Apium graveolens (Sellerie)
Avena sativa (Hafer)	Brassica rapa (Rübsen, Stoppelrübe)	Beta vulgaris (Rübe)
Fagopyrum esculentum (Buchweizen)	Cichorium endivia (Endivie)	Fragaria x magna (Erdbeere)
Hordeum vulgare (Gerste)	Cucumis sativus (Gurke)	Lactuca sativa (Garten-Lattich)
Lycopersicon lycopersicum (Tomate)	Daucus carota (Mohrrübe)	Sinapsis arvensis (Senf)
Medicago sativa (Luzerne)	Pastinaca sativa (Pastinak)	
Nicotiana tabacum (Tabak)	Petroselinum crispum (Petersilie)	
Phaseolus vulgaris (Bohne)	Pisum sativum (Erbsen)	
Raphanus sativus (Radieschen)	Vicia faba (Ackerbohne)	
Secale cereale (Roggen)	Zea mays (Mais)	
Solanum tuberosum (Kartoffel)		
Spinacia oleracea (Gemüse-Spinat)		
Trifolium pratense (Rotklee)		
Trifolium repens (Weißklee)		
Triticum aestivum (Weizen)		
Vicia sativa (Futterwicke)		
Vitis vinifera (Weinrebe)		
Zea mays var. saccharata (Zuckermais)		

terextrema) Streßfaktoren verursachen. Umgekehrt können Witterungsextreme wie Trockenheit, die zu einer verringerten Stomataöffnung führen, gleichzeitig die Ozonaufnahme der Pflanzen (absorbierte Dosis) vermindern. Auch ein Anstieg der CO₂-Konzentration verengt die Stomata (Kap. 3.1.2.1) und kann somit die Ozonaufnahme der Pflanzen verringern.

Symbiotische Beziehungen können ebenfalls durch Ozon beeinträchtigt werden, da insbesondere Leguminosen (Hülsenfrüchte) als sehr ozonempfindlich gelten (Tab. 3.4). Allgemein kann Ozon aufgrund der artspezifischen Empfindlichkeitsunterschiede die Konkurrenzverhältnisse innerhalb von Pflanzenbeständen beeinflussen. Beispielsweise können Leguminosen in einem Grünlandbestand zugunsten der Gräser verdrängt werden.

Tabelle 3.5

Direkte Wirkungen einer Ozon-Zunahme
(nach Krupa und Kickert, 1993)

Wirkungsort bzw. -größe	Direkte Wirkung einer Ozon-Zunahme
Photosyntheserate	Abnahme bei vielen Pflanzen
Stomataöffnung	Abnahme bei empfindlichen Arten und Sorten
Wasserausnutzung	Abnahme bei empfindlichen Arten und Sorten
Blattfläche	Abnahme bei empfindlichen Arten und Sorten
Blattgewicht	Zunahme bei empfindlichen Arten und Sorten
Pflanzenreife	Allgemein reduziert (Notreife)
Blüte	Verspätete Blütenbildung und Abnahme der Blütenzahl und des Fruchtertrages
Trockenmasseproduktion und Ertrag	Abnahme bei vielen Pflanzen
Unterschiede in der Pflanzenreaktion (Arten)	Sehr große artabhängige Unterschiede
Unterschiede in der Pflanzenreaktion (Sorten einer Art)	Sortenabhängige Unterschiede möglich
Trockenstreß	Geringere Anfälligkeit gegen Ozon, aber erhöhte Trockenstreßempfindlichkeit der Pflanzen

Bodennahes Ozon beeinträchtigt bereits heute in vielen Regionen der Erde die Leistungsfähigkeit von Kulturpflanzen und ist daher als bedeutendster Luftschadstoff anzusehen. Troposphärisches Ozon und gleichzeitig auftretende Oxidantien sind wahrscheinlich für über 90 % der Pflanzenschäden durch Luftverschmutzung verantwortlich (Adams u. a., 1986). Für die wichtigsten Kulturarten der gemäßigten Breiten wurden in den vergangenen Jahren mit Hilfe zahlreicher systematischer Versuche empirische Expositions-Wirkungs-Beziehungen ermittelt. Hieraus errechnen sich bereits unter den gegenwärtigen Ozonbelastungen potentielle Ertragsverluste für bestimmte Regionen. Je nach Region, Kulturart (Sorte) und Jahr wurden beispielsweise in Hessen im Zeitraum 1984 bis 1992 potentielle Ertragsverluste zwischen 0,1 % (Gerste, 1984) und 32,6 % (Sommerweizen, Sorte Turbo, 1992) errechnet (Grünhage u. a., 1992).

Vergleichbare Abschätzungen wurden auch in den USA vorgenommen und ökonomisch bewertet. In den USA werden die jährlichen Ernteverluste durch Ozon auf zwei Mrd. Dollar geschätzt (Heck u. a., 1988).

3.1.3 Wirkungen der UV-B-Strahlung auf Pflanzen

Durch die Abnahme des stratosphärischen Ozons wird ein Anstieg der UV-B-Strahlung in der Troposphäre und am Erdboden erwartet. Dieser Anstieg kann jedoch regional teilweise oder vollständig durch die Zunahme des troposphärischen Ozons sowie der Aerosolkonzentration kompensiert werden (Abschnitt A, Kap. 2). Eine UV-B-Zunahme aufgrund des stratosphärischen Ozonabbaus ist für die Südhemisphäre durch Messungen belegt (Seckmeyer und MacKenzie, 1992, Seckmeyer, 1994). Ob auch in der Nordhemisphäre eine Zunahme der UV-B-Strahlung erfolgt ist, kann aufgrund fehlender Messungen nicht einwandfrei belegt werden. Aufgrund meßtechnischer Probleme gibt es erst seit wenigen Jahren kontinuierliche und zuverlässige Meßreihen, die aber noch keine gesicherten Aussagen über einen Trend zulassen. Das Ausmaß der aufgrund der beobachteten Ozonabnahmen in der Stratosphäre zu erwartenden Änderungen der UV-B-Intensität läßt sich daher zur Zeit nur mit Hilfe von Modellrechnungen abschätzen (Zellner, 1993). Diesen Modellberechnungen zufolge hat die Intensität der UV-B-Strahlung in den mittleren Breiten beider Hemisphären zwischen 1979 und 1989 um 4 bis 12 % zugenommen (EK, 1992). Im Januar und Februar beträgt der Anstieg der UV-Dosis bis zu 20 % pro Jahrzehnt (Zellner, 1993). Für die Antarktis errechnet sich eine mittlere Zunahme der UV-B-Intensität von 50 %. In den Monaten September und Oktober, d. h. im Höhepunkt des saisonalen stratosphärischen Ozonabbaus, wäre sogar eine Zunahme um bis zu 140 % möglich (EK, 1992).

Unter Einwirkung von erhöhter UV-B-Strahlung wurden an Pflanzen sowohl sichtbare morphologische Veränderungen (Nekrosen, Chlorosen) wie auch Schädigungen auf der Ebene physiologischer und biochemischer Prozesse beobachtet. UV-B-Strahlung wird von Proteinen und Nukleinsäuren absorbiert, die dadurch geschädigt werden. Da die Nukleinsäuren Träger der Erbsubstanz sind, besteht bei erhöhter

UV-B-Strahlung die Gefahr von Schäden an der Erbsubstanz durch Mutationen (spontane Veränderungen) (Krupa und Kickert, 1994). Da alle Enzyme in den Pflanzen einen Proteinanteil haben, können sie ebenfalls durch die UV-B-Strahlung geschädigt oder inaktiviert werden. Enzyme regeln den gesamten pflanzlichen Stoffwechsel. Somit können vielfältige negative Reaktionen ausgelöst werden. Beispielsweise wird im Bereich der Photosynthese die Aktivität des CO₂-fixierenden Enzyms (Ribulose-bi-Phosphat-Carboxylase) beeinträchtigt. Auch wachstumssteuernde Phytohormone (z. B. Indolessigsäure) gelten als besonders UV-B-empfindlich (Tevini, 1989; Krupa und Kickert, 1994). Weiterhin wurden Reduktionen der Keimungsrate, der Blattfläche, des Pflanzenwachstums, des Ertrags und des Proteingehaltes

mehrfach beschrieben (u. a. Tevini, 1992; Simm, 1993). Auch eine Unterdrückung oder Verzögerung der Blütenbildung durch UV-B-Bestrahlung konnte nachgewiesen werden (Rau und Hofmann, 1988; Tevini, 1992). Die wichtigsten direkten Wirkungen einer erhöhten UV-B-Strahlung sind zusammenfassend in Tab. 3.6 aufgeführt.

Oft konnten Beobachtungen in Klimakammern bei geringeren Lichtintensitäten (Photonenflußdichten) an den gleichen Pflanzenarten unter Freilandbedingungen mit höheren Lichtintensitäten nicht bestätigt werden (Krupa und Kickert, 1994). So fanden z. B. Biggs und Kossuth (1978, In: Krupa und Kickert, 1994), daß bei mehr als 60 % von insgesamt 70 in Klimakammern untersuchten Pflanzenarten und -sorten die Blattfläche durch UV-B erheblich (z. T. um mehr als 50 %) reduziert wurde. In Freilandversuchen bei mittleren UV-B-Strahlungsintensitäten traten derart ausgeprägte negative Effekte bei vielen Pflanzen nicht mehr auf. In einigen Fällen wurde sogar eine Stimulierung des Blattflächenwachstums beobachtet. Auch Teramura und Caldwell (1981) fanden bei mittleren UV-B-Intensitäten und hoher Lichtintensität keine negativen Effekte, sondern eher eine Stimulierung. Sichtbare UV-Schäden (Chlorosen, Nekrosen) wurden in der Regel ebenfalls nur bei höheren UV-B-Intensitäten und gleichzeitig geringem Lichtangebot beobachtet (Tevini u. a., 1981; Vu u. a., 1981, Beide in: Krupa u. Kickert, 1994).

Es wird angenommen, daß die unterschiedliche Reaktion von Pflanzen auf UV-B auf unterschiedliche Gehalte UV-absorbierender Pigmente in Blättern von Freiland- und Klimakammerpflanzen bzw. auf eine Stimulierung der Synthese solcher Pigmente unter Freilandbedingungen zurückzuführen ist (Krupa und Kickert, 1993 und 1994). Zu diesen Pigmenten zählen z. B. Flavonoide, die als UV-B-absorbierende Schutzpigmente (Pflanzenfarbstoffe) in der Epidermis (äußere Zellschicht) der Blätter eingelagert werden können und dadurch tiefer liegende Zellschichten schützen. Über diesen Schutzmechanismus verfügen allerdings nur bestimmte Pflanzenarten (Tevini, 1989). Außerdem wird diese Schutzpigmentbildung bereits bei derzeitig verstärkt einfallenden Wellenlängen im Übergangsbereich von UV-A- zu UV-B-Strahlung aktiviert. Es ist deshalb fraglich, ob dieser Schutzmechanismus bei einer weiteren UV-B-Zunahme ausreichen wird (Wellmann, 1989). Einige Pflanzen besitzen außerdem die Fähigkeit, UV-Schäden an der Erbsubstanz durch Bildung des Enzyms Photolyase zu reparieren (Tevini, 1989).

Auch die Synthese weiterer Pflanzeninhaltsstoffe wird durch die Intensität der UV-B-Strahlung beeinflusst. Dazu gehören z. B. Glycosid-Verbindungen, die als Geruchs- und Geschmacksstoffe in Gewürzpflanzen vorkommen. So wird durch UV-B-Bestrahlung der Geschmack von Basilikumpflanzen verstärkt (Tevini, 1992). In Cannabispflanzen werden vermehrt halluzinogene Inhaltsstoffe gebildet. Phaseolus-Bohnen bilden unter UV-B-Bestrahlung vermehrt Cumestrol, eine Substanz, die in ihrer Wirkung dem Schwangerschaftshormon Östrogen vergleichbar ist (Simm, 1993). Durch die Zunahme der UV-B-bedingten Mutationen und Wechselwirkungen mit anderen

Tabelle 3.6

Direkte Wirkungen einer UV-B-Zunahme (nach Krupa und Kickert, 1993)

Wirkungsort bzw. -größe	Direkte Wirkung einer UV-B-Zunahme
Photosyntheserate	Abnahme bei vielen C3- und C4-Arten
Stomataöffnung	Bei den meisten Arten unbeeinflusst; bei geringerer Lichtintensität reduziert
Wasserausnutzung	Abnahme bei den meisten Arten
Blattfläche	Abnahme bei vielen Arten
Blattgewicht	Zunahme bei vielen Arten
Pflanzenreife	Nicht beeinflusst
Blüte	Unterdrückt oder fördert Blütenbildung bei einigen Arten
Trockenmasseproduktion und Ertrag	Abnahme bei vielen Arten
Unterschiede in der Pflanzenreaktion (Arten)	Sehr große artabhängige Unterschiede
Unterschiede in der Pflanzenreaktion (Sorten einer Art)	Sortenabhängige Unterschiede möglich
Trockenstreß	Geringere Anfälligkeit gegen UV-B, aber erhöhte Trockenstreßempfindlichkeit der Pflanzen
Nährstoffmangel	Bei einigen Arten geringere, bei anderen stärkere UV-B-Anfälligkeit

Streßfaktoren bilden sich möglicherweise in den Pflanzen weit höhere Konzentrationen bekannter oder völlig neuer gesundheitsgefährdender Inhaltsstoffe.

Für eine Abschätzung potentieller Ertragsverluste infolge der Zunahme der UV-B-Strahlung bzw. der Veränderung der atmosphärischen Ozonkonzentration gibt es zur Zeit keine ausreichende Datenbasis (nur wenige Freilanduntersuchungen). Es gibt zudem eine große arten- bzw. sortenspezifische Streubreite in den Reaktionen. Die UV-B-Toleranz einiger Pflanzenarten ist evolutionär bedingt, da diese Arten überwiegend aus niederen Breiten mit natürlicherweise bis zu fünfmal höherer UV-B-Strahlung stammen. Von den bisher untersuchten 300 Pflanzenarten sind mehr als die Hälfte UV-B-empfindlich. Bei Versuchen an 23 Sojabohnen-Sorten erwiesen sich sieben Sorten als unempfindlich, 14 Sorten reagierten mit deutlichen Wachstumsdepressionen. Zwei Sorten brachten bei erhöhter UV-B-Strahlung sogar höhere Erträge (Tera-mura u. a., 1988; In: Simm, 1993). Im Rahmen einer Freilanduntersuchung an Sojabohnen führte die Simulation einer 16-prozentigen Ozonabnahme in der Stratosphäre zu einem Ertragsverlust von bis zu 25 %. Dagegen scheint z. B. Weizen gegenüber höherer UV-B-Strahlung relativ unempfindlich zu sein (Tera-mura u. a., 1990).

Die Unsicherheiten in der Abschätzung möglicher Ertragsänderungen werden zusätzlich durch die vielfältigen Wechselwirkungen (z. B. gleichzeitige Zunahme von CO₂, O₃ und UV-B) und die ausgeprägte räumliche und zeitliche Varianz (v. a. bei O₃ und UV-B) erheblich erschwert (Krupa und Kickert, 1994). Die UV-B-Zunahme beeinflusst auch die Konkurrenzverhältnisse zwischen Nutzpflanzen und Unkräutern oder die Wirt-Parasit-Beziehungen (z. B. durch die Aktivierung/Inaktivierung von Krankheitserregern).

3.1.4 Wirkungen von klimatischen Faktoren auf Böden

Die Wirkungen der einzelnen klimatischen Faktoren auf Böden stehen in einer engen Wechselbeziehung und beeinflussen gemeinsam das Pflanzenwachstum. Sie werden daher nicht einzeln angesprochen, sondern gemeinsam betrachtet.

Der Bodenwassergehalt bzw. die Bodenfeuchte ergibt sich aus dem Zusammenwirken verschiedener klimatischer Faktoren und Standortfaktoren. Der Bodenwassergehalt hängt ab von der Differenz zwischen der Wasserzufuhr aus

- der Versickerung von Niederschlägen,
- dem Oberflächenzufluß und
- dem Kapillaraufstieg aus dem Grundwasser sowie dem Wasserverlust durch
- die Evaporation (Verdunstung des Bodens),
- den Entzug durch Pflanzenwurzeln und die Transpiration der Pflanzen,
- den Oberflächenabfluß und
- die Versickerung ins Grundwasser.

Der Bodenwassergehalt ist in erster Linie von der Niederschlagshöhe sowie der räumlichen und zeitlichen Verteilung der Niederschläge und der Temperatur abhängig. Daneben spielen unter anderem auch physikalische Faktoren wie die Korngrößenverteilung, das Porenvolumen oder die Hangneigung eines Bodens eine wichtige Rolle.

Die Evaporation eines Standortes nimmt bei einem Temperaturanstieg um 1°C um 5 % zu (Parry, 1990). Der Bodenwassergehalt eines Standortes bleibt stabil, wenn bei einer Temperaturerhöhung um 1°C die Niederschläge — bei unveränderter räumlicher und zeitlicher Verteilung — gleichzeitig um 20 mm/Jahr steigen. Diese stark vereinfachten Beziehungen haben jedoch nur begrenzte Aussagekraft, da die Meßgenauigkeit der Wasserhaushaltsgrößen noch einige Unsicherheiten aufweist (Roth, 1989) und der Wasserhaushalt von zahlreichen anderen Faktoren beeinflusst wird. Zusätzlich hat die jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge bzw. der Bodenfeuchte ganz erhebliche Bedeutung für das Pflanzenwachstum.

Man geht allgemein davon aus, daß die prognostizierte Zunahme der Niederschläge in den gemäßigten Breiten der Nordhemisphäre vor allem in das Winterhalbjahr fällt. Die Sommerniederschläge über den Landflächen nehmen dagegen ab. Böden sind aber nur sehr eingeschränkt in der Lage, fehlende Sommerniederschläge durch höhere Winterniederschläge auszugleichen. Selbst dort, wo die Niederschläge auch im Sommer ansteigen, wird durch die gleichzeitige Temperaturerhöhung die Verdunstung soweit zunehmen, daß die Niederschlagszunahme meist überkompensiert wird und die Bodenfeuchte abnimmt (FAO, 1990). Durch den Temperaturanstieg — verstärkt durch den sommerlichen Rückgang der Niederschläge — wird die Häufigkeit von Trockenperioden insbesondere in den kontinentalen gemäßigten Breiten der Nordhemisphäre zunehmen.

Die Pflanzenverfügbarkeit des Bodenwassers wird mit dem Begriff der Feldkapazität umschrieben. Sie wird vor allem durch den Wassergehalt, das Porenvolumen und dessen Größenverteilung sowie den Gehalt an organischer Substanz des Bodens bestimmt. Die nutzbare Feldkapazität gibt die Höchstmenge des pflanzenverfügbaren Bodenwassers an. Sinkt der Bodenwassergehalt bis zum permanenten Welkepunkt, liegt kein pflanzenverfügbares Bodenwasser mehr vor. Die Pflanzen welken dauerhaft, was zu Pflanzenschäden und zum Absterben der Pflanzen führt. Zwischen nutzbarer Feldkapazität und permanentem Welkepunkt korrelieren der Bodenwassergehalt und das Pflanzenwachstum (Trockenmassezunahme) positiv (Geisler, 1980). Akuter Wassermangel durch Ausbleiben der Niederschläge und/oder hohe Temperaturen und Lufttrockenheit führen zum zeitweisen Welken, zu Wachstumsstörungen (Stauchungen, Steckenbleiben der Ähre etc.) und zur Notreife, bei anhaltender Trockenheit letztlich zum Verdorren und Absterben der Pflanze (Hoffmann u. a., 1985).

Das Bodenwasser ist Trägersubstanz der mineralischen Nährstoffe, die die Pflanzenwurzeln nur in gelöster Form aufnehmen können. Die Pflanze entnimmt dem für sie verfügbaren Bodenwasser die

Wasser- und Nährstoffmengen, die sie für den Aufbau ihrer organischen Substanz und den Erhalt der Lebensvorgänge benötigt. Eine Abnahme des pflanzenverfügbaren Bodenwassers verringert daher die Nährstoffaufnahme der Pflanzen. Zahlreiche mikrobielle Umsetzungsprozesse in den Böden sind ebenfalls an ausreichenden Bodenwassergehalt gebunden und nehmen daher bei sinkendem Bodenwassergehalt ab. Ein Anstieg der bodennahen Lufttemperatur führt — in Abhängigkeit von Wärmekapazität und -leitfähigkeit des Bodens — zu einem Anstieg der Bodentemperatur. Die biologischen und chemischen Prozesse bei der Nährstoffbereitstellung (z. B. Mineralisierung) im Boden sowie bei der Aufnahme durch die Pflanzen korrelieren positiv mit der Temperatur. Ausgewogene Nährstoff- und Wasserversorgung vorausgesetzt, nehmen Pflanzen daher beim Anstieg der Bodentemperatur Nährstoffe schneller und leichter auf.

Heftige und/oder lange anhaltende Regenfälle führen je nach bodenphysikalischen Gegebenheiten zu einem kurzzeitigen oder anhaltenden Sauerstoffmangel im Boden. Die oxidativen Vorgänge im Boden werden von reduzierenden abgelöst und die Mikroorganismenaktivität im Boden wird vermindert. Die mikrobielle und pflanzliche Bodenatmung wird unterbunden. Anhaltende Staunässe führt zu Chlorosen und Wurzelfäulen. Bestimmte anaerobe Prozesse werden hingegen verstärkt, so daß durch Gärung und Denitrifikation weitere klimawirksame Spurengase (CH_4 , N_2O) freigesetzt werden.

3.1.5 Wirkungen auf die Produktqualität

Jeder einzelne Wachstumsfaktor — somit auch die klimatischen Faktoren — wirken nach dem Gesetz des Minimums/Optimums quantitativ begrenzend. Daneben können die einzelnen klimatischen Faktoren, insbesondere ihr unausgewogenes Verhältnis bzw. ihre zeitliche Verteilung, auch die Produktqualität oder die Inhaltsstoffe der geernteten Agrarprodukte beeinträchtigen. Vor allem extreme Wetterereignisse (besonders hohe oder niedrige Temperaturen, Niederschläge, Dürren etc.) führen zu Veränderungen an Pflanzen, Pflanzenteilen und Inhaltsstoffen (Deformationen, Schrumpfung, Aufplatzen, Verletzungen, Chlorosen, Nekrosen, Schädigung von Eiweißverbindungen, Auswuchs bei Getreide etc.).

Die Einflüsse der Luftzusammensetzung, insbesondere des CO_2 -Anstiegs auf die Produktqualität bzw. die Inhaltsstoffe wurden bereits in Kap. 3.1.2.1 dargestellt. Die verschiedenen Wirkungen der UV-B-Strahlung wurden in Kap. 3.1.3 erläutert.

3.1.6 Auswirkungen auf die Produktionstechnik

Die prognostizierte Klimaänderung hat neben den direkten Wirkungen auf das Pflanzenwachstum und die Pflanzenentwicklung auch verschiedene Wirkungen auf andere Standortfaktoren und die produktionstechnischen Abläufe im Pflanzenbau. Im folgenden werden einige mögliche positive und negative Ein-

flüsse der Klimaänderung auf die Bodenbearbeitung, die Nährstoffdynamik und Düngung, die Konkurrenz und Regulation der Begleitvegetation und den Druck durch Krankheiten und Schädlinge, die Ernte und Lagerung sowie die Fruchtfolgegestaltung dargestellt. Die Auswirkungen einer Klimaänderung können je nach Region, Standort und Nutzungsweise von Fall zu Fall sehr verschieden sein. Aussagen zu regionalen Wirkungen sind aber derzeit noch nicht möglich.

Bodenbearbeitung und Bodenerosion

Durch ein rascheres Abtrocknen des Bodens bei höherer Lufttemperatur verlängern sich die Zeiträume, in denen die Ackerflächen befahrbar sind. Auf trockeneren Böden kommt es seltener zu Verdichtungen, die das Porenvolumen und damit die Durchlüftung und Durchwurzelbarkeit des Bodens einschränken. Im Mittel könnten die Flächen bei einem Temperaturanstieg im Frühjahr eher und im Herbst länger befahrbar sein, als unter heutigen Klimabedingungen. Mitentscheidend ist aber die zeitliche Verteilung der Niederschläge. Eine Zunahme der Niederschlagshäufigkeit und -intensität führt möglicherweise auch zu einer eingeschränkten Befahrbarkeit der Flächen. Höhere Anteile des Jahresniederschlages könnten künftig als Starkregen niedergehen, wodurch sich der Oberflächenabfluß erhöhen und die Versickerung reduzieren würde. Eine Zunahme der Winterniederschläge könnte die Abtrocknung und damit die Frühlingsbestellung verzögern.

Des weiteren beschleunigt die höhere Temperatur den Abbau der organischen Substanz in den Böden. Dies verbessert zwar vorübergehend die Nährstofffreisetzung. Längerfristig verschlechtert der Verlust an organischer Substanz aber die Wasser- und Nährstoffbindung sowie die Bodenstruktur und -stabilität. Ohne entsprechenden Ausgleich durch häufigere Grün-, Stallmist- oder Kompostdüngung und ganzjährige Bodenbedeckung führt dies zu einer Beeinträchtigung des Bodenlebens und zu einem Anstieg der Bodenerosion. Verschärft wird die Erosionsgefahr noch durch die Zunahme der Wetterextreme (Starkregen/Stürme). Die physikalische Bodenverwitterung wird durch höhere Temperaturen und eine höhere Variabilität der klimatischen Faktoren gefördert.

Der CO_2 -Anstieg führt möglicherweise zu einer vermehrten Bildung von Pflanzensubstanz und zu mehr organischen Rückständen auf bzw. im Boden. Zugleich verändert sich jedoch auch das Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis der Pflanzenrückstände. Aufgrund des relativen Stickstoffmangels verlangsamt sich die Mineralisierung. Die Humusqualität sowie die Verfügbarkeit von Nährstoffen nimmt vermutlich ab.

Die prognostizierte Klimaänderung wird eine polwärtige Verschiebung der Vegetationszonen zur Folge haben. Pro Grad Celsius Temperaturerhöhung verlagern sich die Anbaugebiete um 200 bis 300 km polwärts bzw. im Bergland um 200 Meter höher. Weiter im Norden liegen jedoch häufig schlechter entwickelte und weniger fruchtbare Böden. Die mög-

lichen Verbesserungen der klimatischen Wachstumsbedingungen könnten dort nicht wirksam werden. Zudem wird die Inkulturnahme bisher ruhender Böden den Humusabbau anregen und zusätzlich Kohlenstoff freisetzen.

In den niederen Breiten dehnen sich die tropischen und subtropischen Trockengebiete und Wüsten weiter polwärts aus. Soweit verfügbare Wasserreserven dies gestatten, wird der Bewässerungsfeldbau bis in die gemäßigten Breiten hinein massiv zunehmen. Große Landflächen drohen durch Versalzung zu degradieren oder infolge Wassermangels unfruchtbar zu werden. Um hier weiterhin Landbau betreiben zu können, ist eine Förderung und Wiedereinführung ursprünglicher angepaßter Landnutzungsverfahren (extensiver Regenfeldbau) notwendig.

Der Anstieg des Meeresspiegels und die gebietsweise Zunahme der Sturmhäufigkeit führt zum Verlust fruchtbarer Küstengebiete, insbesondere in den äußerst fruchtbaren Flußdeltas. Mit dem Anstieg des Grundwasserspiegels sind weitere küstennahe Landgebiete durch Versalzung und Vernässung gefährdet.

Böden wurden in der Vergangenheit und werden auch künftig eher durch menschliche Einwirkungen (Rodung, Bearbeitungsfehler) als durch klimatische Veränderungen in Mitleidenschaft gezogen. Um so wichtiger sind verstärkte Anstrengungen zum Schutz der Böden. Hierzu kann eine nachhaltige Landbewirtschaftung ganz wesentlich beitragen.

Nährstoffdynamik und Düngung

Die höhere Bodentemperatur beschleunigt die Mineralisierung und erhöht damit die Nährstoffverfügbarkeit. Dies verbessert die Nährstoffaufnahme der Pflanzen, aber — je nach Niederschlagsverteilung — auch die Verlagerung von Nährstoffen, v. a. Nitrat ins Grundwasser. Mineralische Nährstoffe können von den Pflanzenwurzeln nur in gelöster Form aufgenommen werden. Infolge der Klimaänderung wird für weite Teile der Nordhemisphäre — zumindest in der Hauptvegetationszeit im Sommer — eine Bodenwasserabnahme prognostiziert. Die Nährstoffaufnahme würde hierdurch eingeschränkt werden.

Die mit einer Klimaänderung einhergehenden neuen Wetterextreme erschweren eine genaue Abschätzung der Nährstofffreisetzung und -verfügbarkeit. Eine exakte Bemessung der Düngung, vor allem mit leicht löslichen mineralischen Düngemitteln, wird dadurch zunehmend problematisch. Bei steigender Niederschlagsintensität wächst z. B. die Gefahr von Nährstoffverlusten durch Auswaschung. Dies fördert zusätzlich den Prozeß der natürlichen Bodenversauerung (Basenauswaschung). Wärmere Winter beschleunigen die Stickstoffmineralisation der Böden und erhöhen gleichfalls die Gefahr der Nitrat- und Nährstoffauswaschung ins Grundwasser und — vor allem bei gleichzeitig steigenden Winterniederschlägen — die Denitrifikation (Freisetzung von Distickstoffoxid). Auch eine Düngung mit organisch gebundenen Nährstoffen, also eine Gründüngung mit Leguminosen oder eine Wirtschaftsdüngung mit Stallmist/

Kompost ist nicht vor Auswaschungsverlusten geschützt. Die Nährstoffe, insbesondere der Stickstoff, liegen jedoch kaum in leicht löslicher, auswaschunggefährdeter Form, sondern zumeist organisch gebunden vor (Ausnahme Gülle). Der höhere Eintrag organischer Substanz und die entsprechende Humusbildung verbessern gleichzeitig das Nährstoffbindungsvermögen der Böden.

Begleitvegetation und deren Regulation

Durch ihre Artenvielfalt und entsprechende Anpassungsfähigkeit ist die Begleitvegetation (Unkrautpopulation) den — meist in Monokultur angebauten — Kulturpflanzen bei nahezu allen Wachstumsbedingungen deutlich überlegen. Dies gilt insbesondere bei neuen Wetterextremen. Die Begleitvegetation wird durch künftige Klimaänderungen weniger beeinträchtigt, die Wachstumsbedingungen wärmeliebender und trockenresistenter Unkräuter werden deutlich verbessert, wodurch deren Konkurrenzkraft gegenüber den Kulturpflanzen erhöht wird. Zusätzlich breiten sich wärmeliebende Unkräuter mit den Vegetationszonen polwärts aus, verdrängen dabei aber auch die derzeitige, an niedrigere Temperaturen angepaßte Begleitvegetation. Die Verlängerung der Vegetationsperiode ermöglicht den Unkräutern eine stärkere Vorwinterentwicklung, geringere Auswinterung und eine zeitigere Keimung im Frühjahr. Die beschleunigte Entwicklung führt eventuell zu vermehrter Samenproduktion. Die Bodenwasserabnahme kann ebenfalls Auswirkungen auf die Konkurrenzkraft der Unkräuter haben. Durch die Sommer-trockenheit werden zunehmend tiefwurzelnde und schwer bekämpfbare Unkräuter selektiert werden, die den Wassermangel der Kulturpflanzen zusätzlich verstärken. Der CO₂-Düngeeffekt — soweit er denn wirkt — erhöht die Konkurrenzkraft von C3-Unkräutern gegenüber C4-Kulturpflanzen, aber auch von C3-Kulturpflanzen gegenüber C4-Unkräutern. Ebenso verschieben sich aufgrund der art- und sortenspezifischen Empfindlichkeiten gegenüber einer Zunahme des troposphärischen Ozons und/oder der UV-B-Strahlung die Konkurrenzverhältnisse in Pflanzenbeständen (und natürlichen/naturnahen Ökosystemen).

Die Witterungsbedingungen sind von erheblicher Bedeutung für die Unkrautbekämpfung. Die mechanische Unkrautbekämpfung wird bei höheren Temperaturen und bei Bodenwasserabnahme erfolgreicher sein, da Trockenheit das erneute Anwachsen oder Austreiben der Unkräuter erschwert. Die chemische Unkrautbekämpfung durch Blattherbizide wird durch das Ausbleiben von Niederschlägen nach der Ausbringung verbessert, da die Wirkstoffe nicht vom Blatt abgewaschen werden. Länger andauernde Trockenheit führt jedoch zum Eintrocknen des Mittels, das dadurch wirkungslos wird. Unkräuter, die bei anhaltender Trockenheit mit der Ausbildung bzw. Verstärkung ihrer Wachsschicht (Kutikula) als Transpirationsschutz reagieren, sind hierdurch weniger empfindlich gegenüber Blattherbiziden. Wuchsstoffherbizide werden nur über die Bodenlösung aufgenommen, benötigen daher einen ausreichenden Boden-

wassergehalt, um systemisch wirksam werden zu können. Durch höhere Temperaturen werden sie allgemein in ihrer Wirksamkeit unterstützt. Plötzliche heftige Regenfälle oder Dürreperioden beeinträchtigen dagegen die Wirksamkeit von Blatt- und Wuchsstoffherbiziden. Eine höhere Klimavariabilität sowie neue und möglicherweise häufigere Wetterextreme erschweren generell die exakte Wahl und Dosierung von Herbiziden und verringert deren Effizienz.

Der Herbizidabbau ist vom Bodenwassergehalt und von der Bodentemperatur abhängig. Die höhere Bodentemperatur beschleunigt, der sinkende Bodenwassergehalt verringert u. U. den Abbau. Bei Zunahme von Starkniederschläge steigt generell das Risiko der Verlagerung und Auswaschung. Sollte sich der Abbau verlangsamen, erhöht sich die Gefahr der Anreicherung von Wuchsstoffherbiziden im Boden mit möglichen Schäden an Folgekulturen und der Kontamination der Ernteprodukte.

Krankheitserreger und Schadursachen

Die Temperaturerhöhung und Bodenwasserabnahme, gepaart mit extremen Wetterereignissen und dem Anstieg verschiedener Spurengase beeinträchtigen das Pflanzenwachstum, können zu direkten Schäden an den Pflanzen führen (Kap. 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3) und erhöhen deren Anfälligkeit für Krankheiten und Schaderreger. Zusätzlich werden die veränderten klimatischen Verhältnisse zur weiteren Verbreitung wärmeliebender Schädlinge und Pflanzenkrankheiten beitragen. In höheren Breiten werden Krankheiten und Schaderreger zunehmen, die dort bisher eine untergeordnete oder gar keine Bedeutung haben, da sie nur in wärmeren Regionen niedriger Breiten auftreten. Derzeit werden zahlreiche Schädlinge und Krankheiten, aber auch deren natürliche Feinde durch tiefe Wintertemperaturen in ihrer Entwicklung gehemmt oder dezimiert. Mildere Winter lassen künftig ein höheres Krankheitspotential überdauern. Es überleben mehr frostempfindliche Schadinsekten und Wurzelparasiten, deren natürliche Feinde (Nützlinge) werden entsprechend gefördert. An die derzeitigen klimatischen Bedingungen angepaßte Krankheiten und Schaderreger werden möglicherweise mit den Klimazonen polwärts verdrängt oder verschwinden ganz.

Das Temperaturoptimum für die Keimung der meisten pilzlichen Überdauerungsorgane (Sporen) liegt im Bereich zwischen 22 und 26°C. Neben der Lufttemperatur stellen hohe Luftfeuchtigkeit und Blattbenetzung (Tröpfchen oder Flüssigkeitsfilm auf der Blattoberfläche) notwendige Voraussetzungen für die Infektion durch die meisten pilzlichen Krankheitserreger dar. Günstige Keimungstemperaturen werden in Mitteleuropa bei einem Temperaturanstieg eher und häufiger erreicht. Da es bei höheren Temperaturen zu einer stärkeren Vorwinterentwicklung im Wintergetreide kommt, wird der Herbstbefall mit Blatt- und Fußkrankheiten begünstigt. Die höhere Temperatur fördert vor allem die Keimungsgeschwindigkeit, die für den Befall oft entscheidender ist als die Keimungsrate. Steigende Temperaturen führen gleichzeitig zu intensiver Verdunstung. Die Kei-

mungsrate vieler pilzlicher Sporen fällt unterhalb einer relativen Luftfeuchte von 90 bis 95 % steil ab. Die Intensivierung des hydrologischen Zyklus erhöht die relative Luftfeuchtigkeit und somit die Infektiosität zahlreicher Pilzsporen. Bestimmte Vermehrungsstadien (Zoosporen) sind sogar auf Blattbenetzung angewiesen. Die Dauer der Blattbenetzung, die für eine Infektion erforderlich ist, kann umso kürzer sein, je schneller die Sporen bei höherer Temperatur keimen (Hoffmann u. a., 1985).

Die Aktivität und Entwicklung der wechselwarmen Insekten ist temperaturabhängig. Höhere Temperaturen fördern die Entwicklungsgeschwindigkeit und den Entwicklungszyklus, beeinflussen die Fraßaktivität und Nahrungssuche, die Wanderung und Vermehrung und damit den Verlauf von Epidemien. Bei einer Temperaturerhöhung in höheren Breiten entfällt die Überwinterung (Eier, Puppen etc.), die auch häufig mit einem Wirtswechsel verbunden ist, und es treten ganzjährig aktive Populationen auf (Hoffmann u. a., 1985). Entsprechend werden die von Insekten übertragenen Viruskrankheiten stärker verbreitet. Die jeweiligen Bodentemperaturen entscheiden über den Flugbeginn und die zeitliche Abfolge des Auftretens verschiedener überwinternder Schadinsekten (Berger, 1989). Die an die jeweiligen Lebensbedingungen der verschiedenen Schädlinge angepaßten natürlichen Feinde werden durch die geänderten Lebensbedingungen ebenso gefördert oder gehemmt wie die Schädlingen selbst.

Möglicherweise spielen sich daher auf höherem Temperaturniveau neue Regelkreise ein. Die Zunahme der extremen Wetterereignisse wird aber in jedem Fall zu einer Destabilisierung der Wirt-Parasit- oder Schädlings-Nützlings-Beziehungen führen. Zudem wird die Wahl und exakte Dosierung von Fungiziden, Insektiziden und anderen Pestiziden erschwert. Stablere und anpassungsfähigere Agrarökosysteme, die wie der ökologische Landbau und teilweise auch der integrierte Pflanzenbau auf der Stärkung der natürlichen Widerstandskraft der Pflanzen und der Nützlingsförderung aufbauen, haben bei häufigeren Wetterextremen erhebliche Vorteile gegenüber dem Chemieeinsatz in der konventionellen Landwirtschaft.

Es sei noch erwähnt, daß die Zunahme der UV-B-Strahlung möglicherweise auch Pflanzenkrankheiten und Schädlinge beeinflusst. Neben den negativen Wirkungen der UV-B-Strahlung auf Mikroorganismen wird auch eine keimstimulierende Wirkung auf pilzliche Überdauerungsorgane beschrieben. Viele Pilze benötigen zur Ausbildung der Fortpflanzungsorgane unter Laborbedingungen eine Induktion durch UV-Bestrahlung. Durch verstärkt auftretende Mutationen können zudem neue Krankheiten bzw. Pathotypen auftreten.

Ernte und Lagerung

Die Getreideernte wird heute überwiegend im Mähdruschverfahren durchgeführt. Optimale Voraussetzung hierfür ist das Stadium der Totreife, bei der die Körner einen Wassergehalt von weniger als 16 % aufweisen. Durch höhere Temperaturen und niedri-

gere Bodenwassergehalte nimmt der Wassergehalt des Getreides im Sommer schneller ab. Damit erhöht sich die Wahrscheinlichkeit niedriger Kornfeuchtegehalte zum Erntezeitpunkt, was die Kosten und den Zeitaufwand für die Getreideernte und -lagerung verringert. U. U. kann die energieintensive Getreidetrocknung entfallen.

Andererseits können heftige Niederschläge während der Erntezeit zu Lagergetreide, höherer Kornfeuchte oder sogar Auswuchs (Keimen der Getreidekörner bereits in der Ähre) führen. Dies stellt eine erhebliche Beeinträchtigung der Inhaltsstoffe und der späteren Keimfähigkeit der Körner dar. Bei Auswuchs setzt der enzymatische Stärkeabbau ein und verringert die Verkleisterungsfähigkeit und Backqualität des Weizenmehls.

Bei nahezu allen anderen Ernteverfahren sind ebenfalls sowohl positive als auch negative Folgen denkbar, die beispielsweise von der Restfeuchte des Erntegutes (Heuernte, Strohbergung) oder der Befahrbarkeit der Flächen (Mais- und Zuckerrübenerte) abhängen. Die prognostizierte Zunahme extremer Wetterereignisse wirkt sich tendentiell negativ aus.

Fruchtfolge

Höhere Temperaturen führen zu einer Verlängerung der Vegetationsperiode und zu einer Beschleunigung der Entwicklung und Reifung der Kulturpflanzen innerhalb einer Vegetationsperiode. Somit ließen sich wärmebedürftigere Arten und Sorten anbauen, die unter heutigen klimatischen Verhältnissen nicht zur Reife gelangen. Hierzu gehören vor allem später reifende, ertragreichere Sorten. Andererseits könnten die Erträge der traditionell angebauten Arten und Sorten durch das beschleunigte Wachstum und die schnellere Reife sinken. Die längere Vegetationsperiode ließe sich auch durch eine Ausweitung des Zwischenfruchtanbaus oder unter Umständen durch den Anbau einer zweiten Hauptfrucht nutzen. Der Bodenwassergehalt wird jedoch in beiden Fällen als begrenzender Faktor wirken.

Die veränderten klimatischen Verhältnisse und ein Anstieg der atmosphärischen CO₂-Konzentration, eine Zunahme des troposphärischen Ozons und der UV-B-Strahlung beeinflussen die Konkurrenzverhältnisse zwischen den Pflanzen (z. B. C3-/C4-Pflanzen bzw. Ozon- und UV-B-sensitive oder tolerante Pflanzen). In Monokulturen des Ackerbaus wird hierdurch nur die Konkurrenz zu Unkräutern verändert. In landwirtschaftlichen Mischkulturen (z. B. Feldfutterbau) oder Pflanzengesellschaften (Dauergrünland) können jedoch unerwünschte Veränderungen der Artenzusammensetzung der Vegetation eintreten, indem Arten mit höherem Futterwert zugunsten minderwertiger aus dem Bestand verdrängt werden.

Grünlandwirtschaft

Der CO₂-Anstieg und die Erwärmung können bei ausreichender Bodenfeuchte die Futterproduktion von Wiesen und Weiden erhöhen. Die längere Vege-

tationsperiode verlängert auch die Weidesaison. Möglicherweise könnten dadurch größere Tierbestände von der gleichen Fläche ernährt werden. Da die Grünlandnutzung (und der Feldfutterbau) auf ausreichend hohe und insbesondere gleichmäßige Wasserversorgung angewiesen ist, wird eine zunehmende Sommertrockenheit die Produktivität des Grünlandes jedoch vermutlich beschränken und kann in weiten Teilen sogar zur Aufgabe der Grünlandnutzung zwingen. Ein Umbruch von Grünland mit anschließender ackerbaulicher Nutzung führt zum Humusabbau und setzt CO₂ frei. Höhere Winterniederschläge verzögern möglicherweise den Weideaustrieb im Frühjahr und erhöhen die Gefahr von Tritt- und Narbenschäden.

Ein beschleunigtes Wachstum und eine rasche Reife der Gräser mindert unter Umständen deren Futterwert. Höhere Temperaturen führen zu einer stärkeren Lignifizierung (Verholzung) des Pflanzengewebes, was die Verdaulichkeit des Pflanzenmaterials einschränkt. Zusätzlich könnte die Futterqualität des Pflanzenmaterials durch ein erweitertes Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis aufgrund eines CO₂-Düngeeffektes beeinträchtigt werden. Ein Düngeeffekt kann zu veränderten Konkurrenzverhältnissen innerhalb von Grünlandbeständen führen. Auch durch eine selektive Förderung hitzetoleranter hartblättriger Kräuter und Gräser kann sich die Futterqualität unter Umständen verschlechtern.

3.2 Auswirkungen auf die Tierhaltung

Hohe Temperaturen und insbesondere eine Bodenwasserabnahme stellen eine zukünftige ausreichende Produktivität der Grünlandwirtschaft in Frage. Durch ein verändertes Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis würde zudem die Futterqualität gemindert. Im Bereich der intensiven Landwirtschaft kann der Landwirt durch die Futterzusammensetzung mögliche Mängel ausgleichen. In der extensiven Weidewirtschaft, vor allem in den Tropen und Subtropen, müssen sich die Tiere ihr Futter selbst suchen und können einem möglichen Mangel kaum ausweichen.

Den Anteil der aufgenommenen Futterenergie, der für den reinen Erhaltungsbedarf der Tiere aufgewandt werden muß, also nicht in Produkte oder Gewichtszunahme umgewandelt wird, bezeichnet man als Erhaltungsaufwand. Unterhalb der tierspezifischen Optimaltemperaturen führt ein Temperaturanstieg zur Verringerung des Erhaltungsaufwandes; die Tiere müssen weniger Energie für die Stabilisierung der Körpertemperatur aufwenden. Oberhalb des optimalen Temperaturbereiches steigt bei weiter zunehmender Temperatur der Erhaltungsaufwand jedoch wieder an, da auch Energie für die Kühlung des Körpers verbraucht wird. Zudem sinkt bei höheren Temperaturen die Futteraufnahme und die Futterverwertung der Nutztiere.

In höheren Breiten sinkt bei einem Temperaturanstieg der Aufwand für Heizung und Isolation der Tierställe. Andererseits steigt aber auch der Aufwand für die Kühlung der Ställe in den wärmeren Sommermonaten.

Durch einen Temperaturanstieg können verschiedene parasitäre und infektiöse Tierkrankheiten zunehmen. Diese Krankheiten werden meist von Insekten (Tse-Tse-Fliegen, Zecken, Stechmücken) übertragen, deren Entwicklung durch einen Temperaturanstieg und eine Intensivierung des Wasserkreislaufes gefördert würde (FAO, 1990). Zudem können sich Tierkrankheiten und -seuchen, die bisher auf wärmere Gegenden beschränkt waren, mit den steigenden Temperaturen polwärts ausbreiten.

Im Bereich der Fischwirtschaft ist überwiegend mit negativen Auswirkungen zu rechnen. Mit einem Anstieg der Wassertemperatur intensiviert sich zwar der Stoffwechsel der Fische/Wassertiere und ihre Futteraufnahme steigt, gleichzeitig führen aber steigende Wassertemperaturen zu einem sinkenden Sauerstoffgehalt des Wassers.

Die Hauptfanggebiete der Meeresfischerei werden sich polwärts verlagern. Die Binnenfischerei könnte durch Wassermangel und Wetterextreme beeinträchtigt werden. Bereiche der Küstenfischerei, Brutplätze für Fische, küstennahe Teichanlagen, Zuchtanlagen für Muscheln, Krabben, Garnelen etc. werden durch den Anstieg des Meeresspiegels und Überschwemmungen in Mitleidenschaft gezogen (FAO, 1990).

3.3 Auswirkungen auf die Welternährung

3.3.1 Quantitative Abschätzung von Ertragsveränderungen

Um die Auswirkungen einzelner Faktoren (Bodeneigenschaften, Nährstoffversorgung, Kulturtechnik) auf das Pflanzenwachstum und damit die Erträge abschätzen zu können, wurden die Abhängigkeiten modellhaft erfaßt. Beabsichtigt war ursprünglich die ertragsrelevante Optimierung der kulturtechnischen Maßnahmen (Düngung, Bearbeitung etc.). Die klimatischen Standortfaktoren wurden allgemein als konstant vorausgesetzt. Im Zuge der Diskussionen um die Klimaänderung versucht man, auch die Auswirkungen veränderter klimatischer Bedingungen auf das Pflanzenwachstum und die Erträge zu simulieren.

Die Zusammenhänge zwischen klimatischen Faktoren und Ertragshöhe können auf unterschiedliche Weise dargestellt werden. Ausgehend von der Formulierung einer einfachen statistischen Regressionsgleichung können mit zunehmendem Verständnis der physiologischen Abläufe deren Abhängigkeiten von Klimavariablen in mathematischen Modellen erfaßt werden. Grundsätzlich unterscheidet man Regressionsmodelle (Empirisch-statistische Modelle) und dynamische Modelle (Physiologisch-prozeßorientierte Modelle). In jüngster Zeit ist es gelungen, regionale Simulationen global zu aggregieren.

Unter Federführung des Goddard Institute for Space Studies (USA) und der Environmental Change Unit (ECU) in Oxford (GB) wurden die möglichen globalen Auswirkungen einer vorgegebenen Klimaänderung auf Pflanzenenerträge, den Agrarwelthandel und die Welternährung weltweit analysiert. Die Prognosen von Klimamodellen des Goddard Institute for Space

Studies (GISS), des Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) und des United Kingdom Meteorological Office (UKMO) für den vereinfachten Fall einer völligen Anpassung an eine spontane CO₂-Verdopplung bildeten die Grundlage. Die mit neueren gekoppelten Ozean-Atmosphäre Modellen möglichen zeitabhängigen und realistischen Simulationen des globalen Klimas sind noch nicht für eine solche Studie herangezogen worden. Die im folgenden beschriebene Ergebnisse besitzen daher nur eine eingeschränkte Aussagekraft.

Für verschiedene Länder bzw. größere Regionen wurden die Ergebnisse der Klimasimulationen in verschiedene Ertragsmodelle eingegeben und die jeweiligen nationalen Erträge der regional spezifischen Nutzpflanzen ermittelt. Die untersuchten Nutzpflanzenarten waren Weizen, Reis, Mais und Sojabohnen. Gemeinsam stellen diese vier Arten mehr als 85 % des Weltgetreide- bzw. -hülsenfruchtmarktes dar. Die Erträge wurden sowohl ohne als auch mit Einbeziehung eines möglichen CO₂-Düngeeffektes berechnet. Mit Hilfe eines Welthandelsmodells für Nahrungsmittel wurden aus den nationalen Ertragsänderungen Auswirkungen auf die Produktion, den Verbrauch und die Preise der Nahrungsmittel sowie die Zunahme des regionalen Nahrungsmittelmangels berechnet. Hierbei wurden auch verschiedene Anpassungsmöglichkeiten durch Bewässerung, Bewirtschaftung, Sortenwahl etc. berücksichtigt. Unterstellt wurde ein freier Welthandel sowie ein gemäßigtes Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum (ECU, 1992).

In den niederen Breiten sinken die Erträge, in mittleren und höheren Breiten sind den Modellergebnissen zufolge regionale Ertragszuwächse möglich. In niederen Breiten wachsen die Pflanzen bereits nahe ihrer Temperaturtoleranz, in gemäßigten und vor allem höheren Breiten könnte der Temperaturanstieg dagegen die Vegetationsperiode verlängern und die Produktivität eines Standortes erhöhen.

In den moderaten Klimaänderungsszenarien verändern sich unter Einbeziehung des CO₂-Düngeeffektes die Erträge um $\pm 30\%$. Das UKMO-Klimaänderungsszenario zeigt die deutlichsten Auswirkungen. Es berechnet einen globalen mittleren Temperaturanstieg von 5,2 Grad Celsius (bei CO₂-Verdopplung) und liegt damit an der oberen Grenze der IPCC-Szenarien. Unter der Annahme dieses Szenarios sinken die Erträge weltweit, regional sogar um mehr als 50 %. Die größten Ertragsverluste treten bei Mais und Reis auf. Mais als C4-Pflanze profitiert nicht vom CO₂-Düngeeffekt und Reis reagiert auf einen weiteren Temperaturanstieg unter anderem mit Pollensterilität, was deutliche Ertragsverluste nach sich zieht (FAO, 1990; Schumacher, 1993). Die Sojabohne hingegen profitiert als Leguminose relativ stark vom CO₂-Düngeeffekt. Berechnet man die Ertragsveränderungen ohne die — derzeit umstrittenen — physiologischen Wirkungen des CO₂-Anstieges, treten weltweit unter allen drei Klimaszenarien ausnahmslos Ertragsverluste zwischen 11 und 20 % ein. Die Ertragsverluste weichen regional sehr stark voneinander ab, fallen dabei insbesondere in einigen Bereichen der Tropen und Subtropen sehr drastisch aus. Die höchsten

Ertragseinbußen werden daher in den Entwicklungsländern, vor allem in Afrika, auftreten. Die Getreidepreise auf dem Weltmarkt würden infolge dessen erheblich ansteigen. Millionen Menschen droht dann Jahr für Jahr der Hungertod, weil sie sich selbst billigste Nahrungsmittel nicht mehr leisten könnten (ECU, 1992; Rosenzweig u. Parry, 1994). Bereits derzeit sterben jährlich weltweit etwa 18 Mio. Menschen an Hunger (Egger u. Rudolph, 1992).

In den Industrieländern wird ein leichter Anstieg der Produktion prognostiziert. Unter den Bedingungen des UKMO-Szenarios können dagegen auch in den Industrieländern leichte Verluste eintreten. Das vorhandene Ungleichgewicht in der Nahrungsmittelversorgung zwischen Industrie- und Entwicklungsländern wird sich durch eine Klimaänderung deutlich verstärken (ECU, 1992; Rosenzweig u. Parry, 1994).

Zusammenfassende Bewertung der Modellaussagen

Die bisherigen numerischen Simulationen verweisen übereinstimmend auf eine Minderung der landwirtschaftlichen Erträge im Fall einer globalen Erwärmung. Dies gilt vor allem für die Tropen und Subtropen, die ohnehin mit großen Problemen des Bevölkerungszuwachses zu kämpfen haben.

Die Auswirkungen der erwarteten Klimaänderung und des CO₂-Anstieges auf das Pflanzenwachstum und die Erträge (Kap. 3.1) sind von einer Vielzahl von Einflußfaktoren abhängig, die je nach regionalen Standortfaktoren und regionaler Ausprägung der Klimaänderung zu unterschiedlichen Ertragsänderungen führen können. Die zuvor aufgeführten Ertragsverluste sind daher nur grobe Näherungswerte. Zudem weisen sowohl die Klimamodelle als auch die Ertragsmodelle noch eine Reihe von Unsicherheiten und Unzulänglichkeiten auf. Die Klimamodelle, die als Grundlage für die Berechnungen dienten, stammen aus den Jahren 1982 (GISS) bis 1988 (GFDL) und entsprechen nicht mehr dem aktuellen Wissensstand in der Klimamodellierung. Die Wechselwirkungen zwischen klimatischen Faktoren, Standort und Pflanzenwachstum bzw. -ertrag sind von derart komplexer Natur, daß auch funktionale Modelle mit Vereinfachungen und Auslassungen bislang unzureichend verstandener Prozesse arbeiten müssen. Viele Effekte werden durch die Addition oder die Bildung von Mittelwerten überdeckt. Die negativen Wirkungen der Zunahme von Luftschadstoffen (Ozon etc.) und der UV-B-Strahlung auf das Pflanzenwachstum sind in bisherigen Ertragsmodellen nicht berücksichtigt. Des weiteren sind die Wirkungen und Wechselwirkungen der Klimaänderungen auf ertragsrelevante Faktoren wie Krankheits- und Schädlingsdruck, Unkrautkonkurrenz, Nährstoffdynamik, Veränderung des Grundwasserpegels und Produktionstechnik in den beschriebenen Ertragsmodellen bisher kaum erfaßt worden. Auch nichtklimatische Faktoren wie z. B. der technische oder züchterische Fortschritt, die in den verwendeten Modellen bisher nicht berücksichtigt worden sind, können sich positiv oder negativ auf zukünftige Erträge auswirken. Die pauschale Einfüh-

rung eines CO₂-Düngeeffektes in die Modelle ist sehr kritisch zu betrachten, wie die Darstellung und Diskussion des CO₂-Düngeeffektes (Kap. 3.1.2.1) belegen.

Alle Modellaussagen basieren auf den prognostizierten, über viele Jahrzehnte relativ stetig verlaufenden Klimaänderungen. Nicht berücksichtigt werden bislang aber die Auswirkungen plötzlicher Klimabrüche, wie sie vermutlich in der vergangenen Warmzeit vor etwa 120 000 bis 140 000 Jahren bei einer mittleren Temperatur von nur etwa 1 bis 2 Grad über der heutigen Mitteltemperatur, also bei einer Temperatur, die voraussichtlich schon innerhalb der ersten Hälfte des kommenden Jahrhunderts erreicht werden wird, mehrmals aufgetreten sind.

Die möglichen Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Pflanzenphysiologie und die Produktionstechnik (Kap. 3.1 und 3.2) dürften bei allen noch bestehenden Unsicherheiten dennoch verdeutlichen, daß weltweit mit überwiegend negativen Auswirkungen auf landwirtschaftliche, aber auch auf alle natürlichen und naturnahen terrestrischen und marinen Ökosysteme zu rechnen ist. Die Ertragsmodelle prognostizieren nahezu ausnahmslos und weltweit klimabedingte Ertragsverluste in der Landwirtschaft. Selbst wenn regional positive Wirkungen durch eine Veränderung einzelner klimatischer Faktoren eintreten sollten, können diese durchaus von möglichen negativen Auswirkungen durch eine Zunahme extremer Wetterereignisse, den Anstieg des bodennahen Ozons, der UV-B-Strahlung und weiteren anthropogenen Umweltbelastungen (z. B. Bodendegradation) zumindest teilkompensiert werden.

Trotz aller derzeit noch vorhandenen Unsicherheiten in den Vorhersagen zu dem Ausmaß und der regionalen Ausprägung der Klimaänderungen ist dennoch absolut gesichert, daß eine Klimaänderung kommen wird bzw. bereits stattfindet, da sie auf der Basis physikalischer Grundgesetze berechnet wurde. Bereits die bisherigen Emissionen klimawirksamer Spurengase, v. a. durch die Verbrennung fossiler Energieträger, werden schwerwiegende Folgen für das Leben der nächsten Generationen auf dem Planeten Erde haben. Die Klimaänderung gefährdet zunehmend die Ernährung einer wachsenden Weltbevölkerung. Die Verursacher dieser Klimaänderung sind fast ausschließlich die reichen Industrieländer des Nordens, die hierfür die Verantwortung übernehmen müssen, sofort die Initiative zu ergreifen haben und nicht länger auf Kosten der Umwelt, Mitwelt (v. a. „Dritte Welt“) und Nachwelt leben und wirtschaften dürfen.

3.3.2 Derzeitiger Stand und weitere Entwicklung der Welternährung

Bisherige Entwicklung der Erträge

Die Welt-Nahrungsmittelproduktion wies in den vergangenen Jahrzehnten bis zum Beginn der achtziger Jahre höhere Wachstumsraten als das Bevölkerungswachstum auf. Die Zuwachsraten der Weltagrarpromuktion lagen seit 1960 im Mittel bei 2 bis 3 %/Jahr.

Tabelle 3.9

**Veränderung der Nahrungsmittelproduktion
pro Kopf/Jahr in den Entwicklungsländern
zwischen 1951/55 und 1978/82 (Crosson, 1986):**

Region	Veränderung der Nahrungsmittel- produktion (in Prozent)
Ostasien	+ 1,4
Südasi en	+ 0,4
Lateinamerika	+ 0,9
Afrika	- 0,5
Entwicklungsländer	+ 0,5

Die Bevölkerung wuchs im gleichen Zeitraum um etwa 1,8%/Jahr. Die Pro-Kopf-Versorgung mit Nahrungsmitteln stieg trotz des Bevölkerungswachstums real bis in die achtziger Jahre hinein an. Eine Ausnahme stellt Afrika dar, wo aufgrund landwirtschaftlicher Probleme, häufiger Dürrekatastrophen, voranschreitender Bodendegradierung und des Rekord-Bevölkerungswachstums von fast 3%/Jahr die Pro-Kopf-Versorgung bereits seit Jahrzehnten abnimmt (WWI, 1991).

Die starke Zunahme der Nahrungsmittelproduktion wurde zu 80 % durch die Steigerung der Erträge je Fläche — vor allem in den gemäßigten Breiten — und nur zu 20 % durch die Ausdehnung der Anbauflächen — vor allem in den Entwicklungsländern — erreicht (Crosson, 1986). Möglich wurde die Ertragssteigerung durch die Züchtung neuer hochertragsfähiger Sorten (Weizen/Reis/Mais), die Zunahme des Naßreis-anbaus, die Verbesserung und Ausdehnung des Bewässerungsfeldbaus und eine drastische Zunahme des Düngemittel- und Pestizideinsatzes. Das enorme Wachstum der Nahrungsmittelproduktion zwischen 1950 und 1984 ist überwiegend auf eine weltweite Verneunfachung des Düngemittelverbrauchs und die Verdreifachung der Bewässerungsflächen zurückzuführen (WWI, 1991). Die derzeitige bewässerte Anbaufläche wird weltweit auf 240 Mio. ha geschätzt. Etwa zwei Drittel hiervon liegen in Trockengebieten (145,5 Mio. ha). Die Ausweitung des Bewässerungs-

feldbaus bzw. allgemein der Anbauflächen führte häufig zu einem Rückgang der Grundwasservorräte und zur Versalzung und Degradation der Böden. 30 % der Bewässerungsflächen in den Trockengebieten (43 Mio. ha) sind bereits stark oder sehr stark — insbesondere durch Versalzung oder Versumpfung — degradiert. Pro Jahr gehen hierdurch 1,0 bis 1,3 Mio. ha Anbaufläche verloren (Kap. 2.3.3.1, Tab. 2.31).

Der Anbau dehnte sich häufig auch auf erosionsgefährdete Flächen aus. Von den regenbewässerten Anbauflächen der Erde (1,26 Mrd. ha) gehen pro Jahr etwa 7 bis 8 Mio. ha, vor allem durch Erosion und Versiegelung verloren (UNEP, 1991). Die Neuerschließung von landwirtschaftlichen Nutzflächen wird durch die Stilllegung in Überproduktionsgebieten und vor allem die voranschreitende Bodendegradation und Desertifikation überkompensiert. In der Intensivlandwirtschaft der Industrieländer ist das Maximum des Chemieeinsatzes überschritten. Die vermehrte Anwendung von Mineraldüngern trägt kaum mehr zur weiteren Steigerung der Nahrungsmittelproduktion, dafür um so mehr zur Umweltbelastung bei. Die Zuwachsraten des Düngemiteileinsatzes haben daher in den meisten Ländern in den vergangenen Jahren abgenommen, in einigen Ländern, auch in Deutschland, ist der Düngemiteileinsatz bereits rückläufig (WWI, 1991).

Der Anstieg der Weltnahrungsmittelproduktion hat sich in den letzten Jahren deutlich verlangsamt. So betrug das Wachstum der Weltgetreideproduktion zwischen 1984 und 1990 etwa 1 %, das Wachstum der Bevölkerung dagegen 1,8 %. Die jeweiligen regionalen Höchststände der Pro-Kopf-Versorgung liegen bereits Jahre oder — wie im Falle Afrikas — sogar Jahrzehnte zurück.

Die sinkenden Zuwachsraten seit 1984 hätten schlimmere Konsequenzen gehabt, wären nicht die weltweiten Getreidevorräte bis Mitte der achtziger Jahre auf eine Rekordmenge (461 Mio. t in 1987) angewachsen. In den drei darauffolgenden Jahren sanken die Weltgetreidevorräte auf 290 Mio. t (WWI, 1991). Die Weltbevölkerung lebt also zunehmend „von der Hand in den Mund“. In dieser Situation können Mißernten in einer der Hauptanbau- und -exportregionen der Welt bereits zu weltweiten Versorgungsengpässen und Preissprüngen auf dem Weltmarkt führen.

Tabelle 3.10

**Regionale Produktion und Weltgetreideproduktion pro Kopf im jeweiligen Rekordjahr und 1990
(nach USDA, 1990; In: WWI, 1991)**

Region	Höchstproduktion		1990 kg/Kopf	Abnahme in Prozent
	Jahr	kg/Kopf		
Afrika	1967	169	121	-28
Osteuropa	1978	826	763	- 8
Lateinamerika	1981	250	210	-16
Nordamerika	1981	1 509	1 324	-12
Westeuropa	1984	538	496	- 8
Asien	1984	227	217	- 4
Welt	1984	343	329	- 4

Derzeitiger Stand der Versorgung

Wie bereits in den Vorjahren wird die Zuwachsrates der Weltagrarproduktion mit hoher Wahrscheinlichkeit weiter sinken. Die Nahrungsmittelproduktion kann mit dem anhaltenden Bevölkerungswachstum nicht Schritt halten. Die Pro-Kopf-Versorgung wird deshalb, insbesondere in Afrika, weiter abnehmen. Die bisherige Entwicklung hält somit weiterhin an.

Diese Entwicklung wird deutlich am Beispiel der weltweiten Weizenproduktion, die für 1993 auf etwa 562 Mio. t geschätzt wird, was einem Rückgang der weltweiten Produktion um 9 Mio. t bzw. 1,7 % gegenüber 1992 entspricht. Die weltweite Produktion von Grobgetreide¹⁾ wird für 1993 auf etwa 845 Mio. t geschätzt, was einem Rückgang von 26 Mio. t bzw. 2 % gegenüber 1992 entspricht. Im Wirtschaftsjahr 1993/94 ist die Weltgetreideversorgung noch angespannter als im Vorjahr. Die Weltgetreideerzeugung wird vermutlich 4 % niedriger liegen, was einen beträchtlichen Rückgriff auf Lagerbestände notwendig macht, um den erwarteten Verbrauch zu sichern (Deutscher Bundestag, 1993 b; BML, 1994 c).

Während in Nordamerika, Europa und Teilen Asiens Überschüsse produziert werden, herrscht in vielen Entwicklungsländern Mangel an Nahrungsmitteln und akuter Hunger. Der Hunger in der Welt war und ist jedoch weniger ein Produktionsproblem, als vielmehr ein globales, aber auch regionales Verteilungsproblem. Hier wäre eine regional differenzierte Betrachtung notwendig, die aber im Rahmen dieses Berichtes nicht möglich ist. Einige Entwicklungsländer, in denen in weiten Teilen Hunger herrscht, exportieren gleichzeitig Nahrungs- und Futtermittel in die EU. Der Sudan erhielt 1992 die Zusage der EG, 100 000 Tonnen Hirse als Viehfutter zu Vorzugspreisen in die Gemeinschaft zu exportieren, obwohl Hirse im Sudan ein Grundnahrungsmittel ist und dort seit Jahren Hungersnöte grassieren. Die internationale Staatengemeinschaft versucht gleichzeitig, die Bevölkerung des Sudan mit Nahrungsmittelhilfe am Leben zu halten. Namibia bemüht sich darum 10 000 Tonnen Rindfleisch in die Gemeinschaft zu exportieren, obwohl auch dort großer Hunger herrscht und andererseits in der EG ein hoher Rindfleischüberschuß vorhanden ist (Deutscher Bundestag, 1992 d). Auch Äthiopien hat während der letzten Hungersnot Getreide exportiert, was keineswegs ungewöhnlich ist. Diese Tatsachen stehen nur in eklatantem Widerspruch zu den westlichen Vorstellungen von der Nahrungsmittelknappheit in den Entwicklungsländern (Dudley und Stolton, 1992). Ursache ist häufig die Agrarstruktur in den Entwicklungsländern, die von einer massiven Ungleichverteilung des Landbesitzes geprägt wird. Gleichzeitig behindern die mit Hilfe hoher Subventionen zu niedrigen Preisen exportierten Agrarüberschüsse (Rindfleisch, Getreide) die Entwicklung der Landwirtschaft in einigen Entwicklungsländern. Die Exporte führen zu einem niedrigeren Preisniveau auf den lokalen Märkten. Einheimische Produzenten werden aus dem Markt gedrängt und der Selbstversorgungsgrad in diesen Ländern sinkt (Deutscher Bundestag, 1994 a).

¹⁾ Grobgetreide = alle Getreidearten außer Weizen und Reis (hauptsächlich Mais und Gerste)

Vor allem in Afrika bestehen ernste Nahrungsmittelverknappungen. In der Region Nordafrika ist die Weizenproduktion 1993 um etwa 5 %, die Grobgetreideproduktion sogar um 10 % zurückgegangen. In West- und Zentralafrika wird 1993 mit einer überdurchschnittlichen Grobgetreideproduktion gerechnet. Dennoch wird die Getreideproduktion in den westafrikanischen Sahel-Ländern etwa 2 % unter der Ernte von 1992 bzw. 5 % unter der Rekordernte von 1991 liegen. Die Weizenproduktion 1993 in Ostafrika wird 20 % unter der Vorjahreseerzeugung liegen, die Grobgetreideproduktion etwa 7 % unter dem Vorjahresergebnis. Damit wird der Importbedarf an Getreide sowie der Bedarf an Nahrungsmittelhilfe 1994 beträchtlich zunehmen. Die meisten asiatischen Länder, mit der Ausnahme Chinas, haben durchschnittliche bis überdurchschnittliche Ernten bei Grobgetreide und Reis eingebracht. In Zentral- und Südamerika wird 1993 mit einer geringeren Getreide- bzw. Weizenproduktion als im Vorjahr gerechnet. Die Gesamtgetreideproduktion 1993 in Europa (262,3 Mio. t) lag 1 % höher als 1992. Die Gesamtgetreideernte in der Europäischen Union sank hingegen um 2 % (BML, 1994 c). Dieser Rückgang der Getreideproduktion ist nur zu einem geringen Teil auf Extensivierungsmaßnahmen in den überversorgten Industrieländern zurückzuführen. Das Nahrungsmittelangebot in den Entwicklungsländern und die weltweite Lagerhaltung werden weiterhin abnehmen.

Akute Nahrungsmittelknappheit besteht derzeit im südlichen und östlichen Afrika (Äthiopien, Somalia, Sudan, Kenia, Liberia, Sierra Leone, Angola, Ruanda, Zaire), wo Dürren und politische Unruhen die Nahrungsmittelversorgung bedrohen. Bosnien-Herzegowina und mehrere zentralasiatische Republiken der Gemeinschaft Unabhängiger Staaten benötigen ebenfalls Nahrungsmittelhilfe, um Hungersnöte abzuwenden. In den Ländern entlang des Roten Meeres, in Eritrea, Teilen Somalias und Ägyptens sowie in der Zentralsahararegion bedrohen Heuschreckenplagen die Nahrungsmittelversorgung (Gallus, 1992; Deutscher Bundestag, 1993 b).

800 Mio. Menschen auf der Welt sind unter- oder mangelernährt, etwa 18 Mio. Menschen sterben derzeit jährlich an Hunger, nicht nur in den akuten Krisengebieten, sondern in nahezu allen Entwicklungsländern. Nur etwa 10 % der Hungernden sind Opfer akuter Hungersnöte, 90 % der Betroffenen sterben an den Folgen chronischer Unterernährung (Egger und Rudolph, 1992).

Prognose des Bevölkerungswachstums

Die globale Wachstumsrate der Bevölkerung erreichte zu Beginn der siebziger Jahre mit etwa 1,9 % ihren höchsten Stand. Sie verlangsamte sich danach kurzzeitig und fiel bis auf 1,7 % in den frühen achtziger Jahren. Im Laufe des vergangenen Jahrzehnts beschleunigte sich das Wachstum wieder und erreichte Ende der achtziger Jahre 1,8 %. 1950 lebten 2,5 Mrd. Menschen auf der Welt. Bereits 1987 hatte sich die Weltbevölkerung verdoppelt. Derzeit leben 5,420 Mrd. Menschen (1992) auf der Erde, 1,2 Mrd. in

den Industrieländern und 4,2 Mrd. in den Entwicklungsländern.

Bis zum Jahr 2025 wird die Weltbevölkerung nach Schätzungen der Vereinten Nationen auf $8,5 \pm 0,9$ Mrd. Menschen anwachsen. Zur Zeit wächst die Weltbevölkerung um etwa 95 Mio. Menschen Jahr für Jahr. Über 80 % dieses Wachstums findet in Afrika, Asien und Lateinamerika statt. In den entwickelten Industrieländern stagniert oder schrumpft die Bevölkerung bzw. wird durch Zuwanderung stabilisiert. Den höchsten absoluten Zuwachs haben China, Indien, Bangladesch, Indonesien, Pakistan, Nigeria, Mexiko, Brasilien, Ägypten und Äthiopien zu verzeichnen. Das Maximum der Weltbevölkerung wird — unter der Annahme einer entsprechend steigenden Nahrungsmittelproduktion — auf 11 bis 13 Mrd. Menschen geschätzt. Diese Zahl wird beim Übergang in das 22. Jahrhundert erreicht werden, wenn voraussichtlich alle Staaten der Erde den demographischen Übergang vollzogen haben werden (Schmid, 1993). Aufgrund der Altersstruktur in den Entwicklungsländern wird das Wachstum nur sehr langsam reduziert werden können. Durch die große Zahl junger Menschen und Kinder ist bereits ein weiteres Wachstum für die nächsten Jahrzehnte vorprogrammiert, selbst wenn es gelänge, die Geburtenrate zu senken.

Potentielle Erträge der bewirtschafteten Flächen

Die Nettoprimärproduktion (NPP) landwirtschaftlicher Flächen liegt im allgemeinen weit unter der Produktivität der natürlichen Vegetation am gleichen

Standort. Die landwirtschaftliche Produktivität ist in den meisten Regionen der Erde durch die Verfügbarkeit der Pflanzennährstoffe bzw. deren Zufuhr durch Düngungsmaßnahmen begrenzt. Nur bei intensivster Bewirtschaftung (Düngung, Bewässerung, Anbautechnik, Sortenwahl etc.), wie in der Intensivlandwirtschaft der westlichen Industrienationen, wird annähernd die ursprüngliche natürliche Produktivität erreicht (Esser, 1994).

Die durchschnittlichen Getreideerträge betragen in Afrika 1 t/ha, in Westeuropa dagegen 4 t/ha. Viele Entwicklungsländer verfügen über ein hohes und noch steigerungsfähiges Ertragspotential (Schug, 1993). Gerade in den kritischen Gebieten droht jedoch eine künftige Klimaänderung die Produktivität zu verringern.

Potentielle Ausdehnung der bewirtschafteten Flächen

Die Ausdehnung der landwirtschaftlichen Nutzflächen kann nur auf Kosten der noch vorhandenen, natürlichen Ökosysteme, insbesondere durch die weitere Vernichtung tropischer Wälder erfolgen. Eine weitere Inkulturnahme von Land erscheint derzeit ohnehin nur noch in Lateinamerika und Afrika möglich, in Asien und in den gemäßigten Breiten stößt dies bereits an natürliche Grenzen, da hier die Landreserven weitgehend erschöpft sind. Neue landwirtschaftliche Nutzflächen können aber zumeist nicht dauerhaft erschlossen werden. Bereits jetzt dringt die Landwirtschaft in weiten Teilen der Welt in sensible

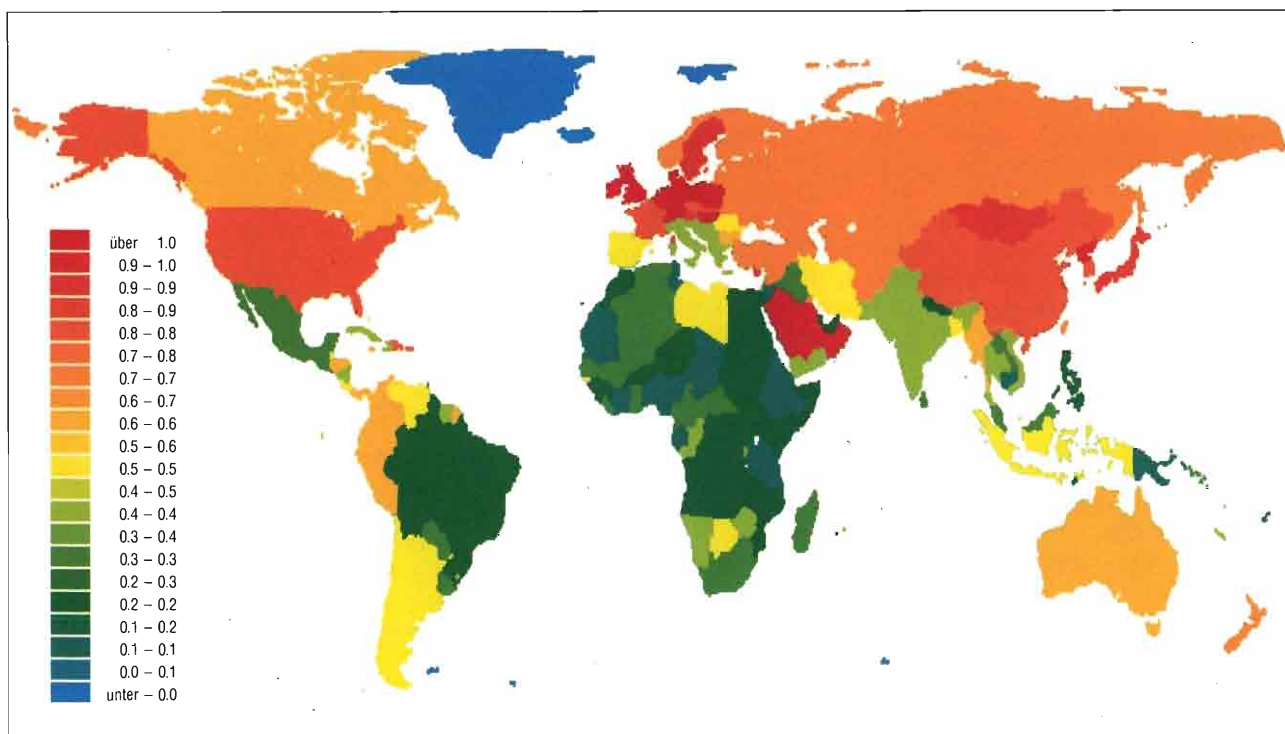


Abbildung 3.5: Weltweite relative landwirtschaftliche Produktivität für das Jahr 1990 (Esser, 1994):

Tabelle 3.11

Vergleich der Nettoprimärproduktivität (Trockenmassebildung in g/m² x Jahr) natürlicher und landwirtschaftlich genutzter Flächen in verschiedenen Ländern (Esser, 1994)

Land	Landwirtschaftliche Produktivität g/m ² x Jahr	Natürliche Produktivität g/m ² x Jahr	Verhältnis der Produktivität
Zaire	180	1 960	0,10
Kenia	350	1 300	0,13
Nigeria	150	890	0,17
Kambodscha	310	1 800	0,17
Bolivien	280	1 500	0,19
Brasilien	310	1 620	0,19
Spanien	510	750	0,68
Deutschland	1 130	1 190	0,95
Be-Ne-Lux-Länder	1 290	1 210	1,07

Randgebiete vor, was zu einer massiven Zunahme der Bodendegradierung geführt hat. Die Schädigung der Böden droht in Zukunft — beschleunigt durch die Klimaänderung — weit schneller voranzuschreiten als die Erschließung neuer Flächen überhaupt möglich wäre. Eine künftige Steigerung der Nahrungsmittelproduktion ist daher nur möglich, wenn

- die Produktionsintensität auf den derzeit bewirtschafteten Flächen in den unterversorgten Regionen der Welt weiter angehoben wird,
- die weitere Schädigung (Degradation und Desertifikation) derzeit bewirtschafteter Flächen durch eine nachhaltige und standortgerechte Bewirtschaftung vermieden wird.

Die Ausdehnung der potentiell bewirtschafteten Flächen wird in Zukunft zusätzlich durch die Verschiebung der Klimazonen infolge der Klimaänderung beeinträchtigt. In Abhängigkeit von der geographischen Breite ergeben sich aus den atmosphärischen Zirkulationsmustern stabilere und anfälliger Klima- und Vegetationszonen. Besonders anfällig für Klimaänderungen sind die Zwischenzonen:

- die Savannen- und Steppenzonen zwischen den Tropen und Subtropen, da hier der Niederschlag auf den Sommer beschränkt ist und in Richtung der Subtropen immer spärlicher wird;
- die Zone zwischen den Subtropen und den gemäßigten Breiten, in der der Niederschlag im wesentlichen auf die Wintermonate beschränkt ist;
- die subpolare Tundrenzonen zwischen den gemäßigten und polaren Breiten, in der weniger der Niederschlag als die Temperatur den begrenzenden Faktor für die Vegetation darstellt.

Vieles deutet darauf hin, daß in den Gebieten, in denen die Klimavariabilität schon heute die Landwirtschaft stark beeinträchtigt, zum Teil mit dramatischen Veränderungen gerechnet werden muß.

Tropische und subtropische Trockengebiete werden nach Aussage der Klimamodelle eher noch trockener. Die dadurch notwendige verstärkte Bewässerung führt zu einer starken Versalzung und schließlich zum Verlust landwirtschaftlicher Flächen. Trockengebiete, in denen mangels Wasser und/oder Technik keine Bewässerung möglich ist, werden bei einem Temperaturanstieg nicht mehr landwirtschaftlich genutzt werden können. Handelt es sich bei diesen Regionen um bevölkerungsreiche Länder, so sind dies die extrem gefährdeten Regionen. Außerdem basiert die Nahrungsproduktion in den Tropen und Subtropen im wesentlichen auf C4-Pflanzen (Mais, Hirse, Zuckerrohr), die nicht von einem CO₂-Anstieg profitieren, sondern der verstärkten Konkurrenz von C3-Pflanzen ausgesetzt sind.

Die globale Erwärmung führt wegen veränderter Intensität und Verteilung der Niederschläge zu einer Verschiebung der Vegetationszonen. Nach Modellrechnungen werden die kontinentalen Bereiche der mittleren Breiten im Sommer deutlich trockener. Auch in Teilen Mitteleuropas wird dann das pflanzenverfügbare Wasser vermutlich zum begrenzenden Faktor für die Landwirtschaft werden. Dürre- und Hitzeperioden, wie sie in den vergangenen Jahren bereits mehrfach (USA, UdSSR, China) aufgetreten sind, könnten zu einem öfter wiederkehrenden Ereignis werden. Die heutigen Trockenzonen im nördlichen Afrika, in Arabien, Zentralasien und in südlichen Teilen der USA werden sich nordwärts verschieben. Die fruchtbaren und dichtbesiedelten Winterregenzonen um das Mittelmeer, in den USA und den südlichen GUS-Ländern könnten sich in subtropische Trockengebiete verwandeln (IPCC, 1990 b; EK, 1990 b; EK, 1992).

Die Ausweitung der landwirtschaftlichen Nutzflächen steht im Widerspruch zu vielen anderen Interessen wie beispielsweise dem Erhalt der Wälder und dem Schutz der biologischen Vielfalt. Auch sind die Rodung der Wälder und die nachfolgende landwirt-

schaftlichen Nutzung mit der zusätzlichen Freisetzung von klimawirksamen Spurengasen verbunden (Kap. 2.3.2). Eine weitere Steigerung der Nahrungsmittelproduktion wird daher in Asien, aber auch in Afrika und Lateinamerika in erster Linie durch die Erhöhung der Flächenerträge auf den bereits bewirtschafteten Flächen erreicht werden müssen. Notwendig ist daher eine Begrenzung der Klimaänderung und eine weltweit nachhaltige Landbewirtschaftung, um den weiteren Verlust von Nutzflächen und die Ausbreitung der Wüsten zu verhindern. Wenn auch der derzeitige Wissensstand nicht ausreicht, um die Ernährungskapazität der Erde genau genug zu ermitteln, dürfte es rein rechnerisch möglich sein, mit den bekannten landwirtschaftlichen Techniken, mit den verfügbaren Ressourcen und ohne Landnutzungsänderungen in größerem Umfang eine doppelt so große Anzahl von Menschen (11 Mrd.) ausreichend und

nachhaltig zu ernähren (Weber, 1988; Schug, 1993). Wie viele Menschen die Erde auf Dauer ertragen kann, hängt allerdings nicht nur von der maximal möglichen Erzeugung von Nahrung ab, sondern in noch weit größerem Maß von Art und Umfang der Nutzung aller natürlichen Ressourcen und den daraus resultierenden Eingriffen in die Umwelt.

Die Zunahme des Hungers in der Welt ist heute und wahrscheinlich auch in Zukunft weit weniger auf eine unzureichende Nahrungsmittelproduktion, als vielmehr auf die ungerechte Verteilung der Nahrungs- und Produktionsmittel zurückzuführen. Dies basiert sowohl auf globalen Disparitäten und Abhängigkeiten (Auslandsverschuldung, einseitige Handels hemmnisse, Verschlechterung der „Terms of Trade“), als auch auf Problemen innerhalb der unterversorgten Länder und Regionen (Großgrundbesitz, kriegerische Auseinandersetzungen, Bevölkerungswachstum etc.).

4. Handlungsoptionen und Potentiale zur Verringerung des Beitrages der Landwirtschaft zur Emission klimawirksamer Spurengase

4.1 Derzeitige Situation der Weltlandwirtschaft

4.1.1 Intensivlandwirtschaft in Europa

Die zusammenfassende Analyse des ersten und zweiten Kapitels im Abschnitt B belegt den deutlichen Zusammenhang zwischen der Produktionsintensität, dem Grad der Spezialisierung und der Höhe der Emissionen klimawirksamer Spurengase aus der Landwirtschaft. Die vorleistungsintensive Landwirtschaft in den westlichen Industrieländern trägt durch den Verbrauch fossiler Energieträger vor allem bei der Herstellung von Mineraldüngern, als Treibstoff und durch den Import von Futtermitteln zur CO₂-Emission bei. Der teilweise überhöhte und unsachgemäße Einsatz mineralischer und/oder organischer Stickstoffdünger führt zu Stickstoffeinträgen in die Agrarökosysteme, die den Entzug durch die Pflanzen häufig weit übersteigen. Mit der Höhe der Stickstoffüberschüsse in den Böden nehmen die Distickstoffoxid-Emissionen überproportional zu. Die Methan- und Ammoniakfreisetzung aus der Tierhaltung und der Wirtschaftsdüngung hängt wesentlich vom Energie- und Eiweißgehalt des Futters sowie dem Stallhaltungs- und Entmistungssystem ab. Besonders hoch sind die Emissionen bei der intensiven Massentierhaltung mit Gülle-Entmistungssystemen. Die Ammoniakausgasung aus der Gülle trägt gemeinsam mit der Auswaschung bzw. dem Abtrag mineralischer Stickstoffdünger in Grund- und Oberflächengewässer zur Eutrophierung natürlicher und naturnaher Ökosysteme bei. Dies führt dort wiederum zur verstärkten Freisetzung von stickstoffhaltigen Spurengasen. Gleichzeitig trägt die Eutrophierung zur Zerstörung insbesondere von nährstofflimitierten Lebensräumen wildlebender Pflanzen und Tiere und damit zur Verringerung der Arten- und Biotopvielfalt in der Land-

schaft bei. Die zunehmende Spezialisierung und Mechanisierung in der Landwirtschaft führt zur Entkopplung von Tierhaltung und Pflanzenbau, zu einer Fruchtfolgeverarmung, zum Rückgang einer geregelten Stallmist-Humuswirtschaft und dem steigenden Einsatz schwerer Maschinen. Die Schädigung der Bodenstruktur und die Zunahme der Erosion erhöhen den Kohlenstoff- und Nährstoffaustrag aus den Agrarökosystemen. Alle landwirtschaftlichen Aktivitäten, die zu einer Verminderung der Kohlenstoffeinbindung in oder sogar zu einer Kohlenstofffreisetzung aus Agrarökosystemen oder natürlichen Ökosystemen (z. B. Landnutzungsänderungen, Waldsterben) führen, sind letztlich auch klimarelevant.

4.1.2 Landwirtschaft in den Entwicklungsländern

Die Armut der ländlichen Bevölkerung, die ungleiche Landbesitzverteilung (Großgrundbesitz), der exportorientierte Anbau von Cash-crops, der Verfall der Weltmarktpreise und das ungebremsste Bevölkerungswachstum verstärken die Brandrodungsaktivitäten in den Wäldern und überfordern das ursprünglich nachhaltige System des Wanderfeldbaus. Da die Böden rasch degradieren, müssen ständig neue Flächen gerodet werden. Zusätzlich nehmen die Rodungsaktivitäten zu aufgrund staatlicher Siedlungsprogramme und der Anreize zur großflächigen Erschließung der Wälder. Die tropischen Wälder werden zum größten Teil brandgerodet, um neue landwirtschaftliche Anbauflächen zu gewinnen. Lastet man diese Waldvernichtung insoweit der Landwirtschaft an, so ist diese weltweit zu etwa einem Drittel Verursacher des globalen Treibhauseffektes. Der reichumsbedingten Ressourcenverschwendung des Nordens steht die armutsbedingte Ressourcenzerstö-

rung des Südens gegenüber. Die umweltbelastende Intensivlandwirtschaft mit ihren Überschüssen im Norden und die weitgehend fremdbestimmte, exportorientierte Landwirtschaft bei Unterversorgung der einheimischen Bevölkerung im Süden verursachen beide steigende Emissionen klimawirksamer Spurengase und sind daher Mitverursacher der globalen Klimaänderung.

4.1.3 Globale Umweltprobleme durch nicht nachhaltige Landbewirtschaftung

In engem Zusammenhang mit dem Beitrag der Landwirtschaft zur Emission klimawirksamer Spurengase stehen zahlreiche weitere, regional unterschiedlich ausgeprägte Umweltbelastungen. Die Qualität unserer Lebensumwelt und unserer Nahrungsmittel hat sich verschlechtert. Die Landwirtschaft ist heute in erheblichem Umfang an der Eutrophierung von Ökosystemen, an der Generosion und dem Artensterben, an der Zerstörung wertvoller Biotope und am Waldsterben beteiligt. Die Kulturlandschaft wurde im Zuge der „Flurbereinigung“ ausgeräumt und hat an Wert verloren. Gleichzeitig drohen infolge der ökonomisch und ökologisch teilweise bedenklichen Flächenstilllegung oder Aufgabe der Bewirtschaftung weite Teile des Landes zu veröden. Dies ist in verschiedenen Regionen der EU bereits der Fall. Zudem kann es zu einem verstärkten Eintrag von Stickstoff in das Grundwasser kommen, wenn dieser nicht mehr durch Kulturpflanzen dem Boden entzogen wird. Die Konzentration der intensiven Landbewirtschaftung und die konzentrierte Massentierhaltung in den landwirtschaftlichen Gunsträumen verstärkt dort die regionalen Umweltschäden und trägt erheblich zur Degradation der Böden bei. Die künstliche Bewässerung führt in semi-ariden und ariden Gebieten oft zur Versalzung. Überhöhte Düngung und Pestizideinsatz tragen zur chemischen Belastung bei. Unsachgemäße, nicht angepaßte Bearbeitung sowie die fehlende Stallmist-Humuswirtschaft ziehen Strukturschäden, Erosion und Verdichtungen der Böden nach sich.

Die Zerstörung der Lebensgrundlagen führt somit zu einer stetig wachsenden, häufig irreversiblen Schädigung der Böden und der weiteren Ausdehnung der Gebiete mit Desertifikation. Jährlich wächst die Wüstenfläche weltweit um mindestens 6 Mio. ha. Übernutzung und Überweidung, nicht angepaßte Anbaumethoden und die Rodung der Wälder sind die wichtigsten Ursachen dieser Entwicklung. Der wirtschaftliche Verlust durch Desertifikation belief sich 1990 auf 42 Mrd. US-Dollar. Für die Eindämmung der weiteren Ausdehnung der Wüsten und die Rekultivierung verwüsteter Gebiete wurden 1990/91 weltweit 270 Mrd. US-Dollar veranschlagt (Weltbank; In: Ökologische Briefe, 1994). Durch die steigende Intensivierung und weitere Ausdehnung der Landbewirtschaftung insbesondere in den unterversorgten Regionen der Welt wird der Beitrag der Landwirtschaft an der anthropogenen Klimaänderung künftig weiter steigen. Gleichzeitig droht diese Entwicklung die landwirtschaftliche Nutzfläche durch Erosion, Versalzung und Desertifikation immer rascher zu reduzieren.

Dieser Vorgang wird durch die Klimaänderung im Sinne einer positiven Rückkopplung zusätzlich beschleunigt.

4.1.4 Drohende Gefahren durch die Klimaänderung

Das dritte Kapitel im Abschnitt B hat die zahlreichen Gefahren der Klimaänderung für die Landwirtschaft aufgezeigt. Nach Klimamodellrechnungen erwartet man im nächsten Jahrhundert ohne globale Gegenmaßnahmen eine Erwärmung um etwa 0,3°C pro Jahrzehnt im globalen Durchschnitt. Hierdurch verschieben sich die Vegetationszonen mittlerer Breiten polwärts und es kommt weltweit zu teilweise starken Veränderungen in der regionalen Intensität und Verteilung der Niederschläge und anderer Wetterereignisse.

So ungleich verteilt wie die Ursachen der Klimaänderung, so ungleich verteilt sind aber auch deren Auswirkungen. Die westlichen Industrienationen verursachen durch ihre Emissionen mindestens drei Viertel der globalen Klimaänderung. Zwar werden voraussichtlich auch die reichen Industrieländern keine Gewinner einer Klimaänderung sein, doch werden die Auswirkungen in der dortigen Überschußlandwirtschaft weniger dramatisch sein. Für die unterversorgten Entwicklungsländer werden hingegen drastische Auswirkungen prognostiziert. Unter dem Anpassungsdruck der Klimaänderung wird sich daher die Kluft zwischen Entwicklungsländern und Industrieländern weiter vertiefen.

Die jetzt schon relativ trockenen Zonen im westlichen und südlichen Afrika, in Südostasien und großen Teilen von Mittel- und Südamerika wären schon von einem geringen Rückgang der Niederschläge besonders betroffen. Die Landwirtschaft ist dort bereits jetzt häufig von Dürre bedroht. Die fruchtbaren und dichtbesiedelten Winterregenzonen um das Mittelmeer, in den USA und den südlichen GUS-Ländern würden zu unfruchtbaren Trockengebieten. Um hier weiterhin Pflanzenbau betreiben zu können, müßten die genannten Gebiete künstlich bewässert werden, soweit denn ausreichend Kapital und Wasser vorhanden wäre. Den Böden droht bei unsachgemäßer Bewässerung die Gefahr der Versalzung, die eine weitere landwirtschaftliche Nutzung unmöglich macht. Auch der Anstieg des Meeresspiegels könnte in vielen dichtbesiedelten Küstenregionen und fruchtbaren Flußdeltas zu Landverlusten durch Überflutung oder Versalzung führen (Bangladesh, Nildelta, Golf von Mexiko, deutsche und niederländische Nordseeküste etc.).

4.1.5 Konsequenzen für die Ernährung der Weltbevölkerung

Wenn auch die Weltbevölkerung derzeit noch ausreichend ernährt werden könnte, so scheitert dies an der mangelhaften Verteilung zwischen Arm und Reich. Große Teile der Weltbevölkerung leben bereits heute „von der Hand in den Mund“ und viele verhungern. Die weltweite Klimaänderung und die dabei sehr

wahrscheinliche Zunahme der Dürren, Stürme und anderer extremer Wetterereignisse können die Welt-ernährung in zunehmendem Maße gefährden. Zudem wird die Bevölkerung bis zum Jahr 2025 von derzeit 5,5 Mrd. auf schätzungsweise 8,5 Mrd. Menschen anwachsen. Fünf Sechstel der Weltbevölkerung werden dann in den heutigen Entwicklungs- und Schwellenländern leben. Dies wird zu einer drastischen Verschärfung der sich bereits abzeichnenden Verteilungskämpfe und entsprechenden Migrationsproblemen führen. Der weiteren Ausdehnung der landwirtschaftlichen Nutzflächen sind bereits jetzt Grenzen gesetzt. Die Agrar-Überschußproduktion der westlichen Industrieländer war schon in der Vergangenheit keine Lösung der Ungleichverteilung und der Unterversorgung weiter Teile der Welt. Sie führt zu Verzerrungen auf dem Weltmarkt mit erheblichen Nachteilen für viele Entwicklungsländer, die von Agrarexporten abhängig sind.

4.1.6 Zielsetzung für die künftige globale Landwirtschaft

Aus den zahlreichen beschriebenen Wechselwirkungen und Abhängigkeiten zwischen der Landwirtschaft und der Klimaänderung, einschließlich ihrer ökonomischen und soziokulturellen Bezüge, kann man folgende Ziele für eine künftige Landwirtschaft ableiten:

- Die Freisetzung klimawirksamer Spurengase aus der Landwirtschaft (und aller anderen Wirtschaftszweige) vermindern und damit die Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre und die Veränderung des Klimas begrenzen;
- die Spurengasbelastung der Atmosphäre durch eine stabilere und stärkere Kohlenstoffbindung in der Biosphäre und den Böden verringern;
- die landwirtschaftliche Produktion an regionale Standortbedingungen und zukünftige Klimaänderungen anpassen.

Diese Ziele gelten gleichermaßen für die Landwirtschaft in den Industrieländern wie auch in den unterversorgten Regionen der Welt. Die Höhe der Freisetzung klimawirksamer Spurengase in der westlichen Intensivlandwirtschaft hängt maßgeblich von der Produktionsintensität ab. Deren Senkung durch eine Extensivierung der Landwirtschaft reduziert die Emissionen und eröffnet gleichzeitig den Entwicklungsländern den erforderlichen Spielraum für die Produktionssteigerung in ihrer Landwirtschaft. Ebenso wie in allen anderen Wirtschaftsbereichen ist die notwendige Entwicklung in den Entwicklungsländern nur dann global klimaverträglich möglich, wenn die Industrieländer ihre Emissionen deutlich absenken.

Die Ernährung einer wachsenden Weltbevölkerung in den unterversorgten Regionen der Welt erfordert zugleich eine standortgerechte und umweltverträgliche Produktionssteigerung in der dortigen Landwirtschaft. Durch eine maßvolle und standortangepasste Erhöhung der Produktionsintensität könnten die Erträge erheblich gesteigert werden. Sofern gewähr-

leistet wird, daß die Ertragssteigerungen für die Ernährungssicherung der einheimischen Bevölkerung genutzt werden und nicht — wie bisher — nur den Produzenten von „Cash crops“, zum Export und dem Gewinn weniger Großbetriebe oder multinationaler Konzerne zugute kämen, könnte auch eine wachsende Bevölkerung ernährt werden. Oberstes Ziel muß aber auch hier eine nachhaltige und dauerhafte Landbewirtschaftung sein. Nur mit Hilfe eines stabilen und an den Standort angepaßten Anbaus (Agroforstwirtschaft/Ecofarming) läßt sich der Teufelskreis aus Degradation der Böden und Brandrodung immer neuer Wälder (mit den entsprechenden klimarelevanten Emissionen) durchbrechen. Gleichzeitig müßten aber erhebliche Anstrengungen zur stetigen Reduzierung des Bevölkerungswachstums unternommen und verschiedene regionale bzw. globale Rahmenbedingungen der Landwirtschaft und des Welthandels verändert werden. Das Leitziel sollte daher weltweit eine nachhaltige und damit auch gleichermaßen klima- und umweltverträgliche Landbewirtschaftung sein.

4.1.7 Politische Grundlagen zur globalen Umsetzung einer nachhaltigen Landwirtschaft

Während der Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung (UNCED), die im Juni 1992 in Rio de Janeiro stattfand, wurden mit der Klimarahmenkonvention und der Konvention über die biologische Vielfalt, mit der Walderklärung und der Rio-Deklaration, mit dem Aktionsprogramm „Agenda 21“ und dem Beschluß zur Einrichtung der UN-Kommission für nachhaltige Entwicklung (CSD) die Grundlagen für eine qualitativ neue weltweite Zusammenarbeit in der Umwelt- und Entwicklungspolitik geschaffen. Die Klimarahmenkonvention enthält in Artikel 2 die Verpflichtung, die Emissionen der klimawirksamen Spurengase weltweit so weit abzusenken und „die Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre auf einem Niveau zu erreichen, auf dem eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems verhindert wird. Ein solches Niveau sollte innerhalb eines Zeitraumes erreicht werden, der ausreicht,

- damit sich die Ökosysteme auf natürliche Weise den Klimaänderungen anpassen können,
- die Nahrungsmittelerzeugung nicht bedroht wird und
- die wirtschaftliche Entwicklung auf nachhaltige Weise fortgeführt werden kann.“

Eine mittlere globale Erwärmung um etwa 0,1°C pro Jahrzehnt wird unter diesen Umständen seitens der Wissenschaft als noch verträglich angesehen. Prognostiziert wird derzeit jedoch eine Erwärmung um 0,3°C pro Jahrzehnt.

Die Konzentration der Spurengase in der Atmosphäre hängt neben der Emissionsmenge und -art vor allem von deren Verweilzeit in der Troposphäre (Lebensdauer) ab. Aufgrund der langen Verweilzeit würde daher selbst bei konstanter Emissionsrate die Konzen-

tration in der Atmosphäre stetig weiter ansteigen. Das europäische Ziel, die CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2000 auf dem Stand von 1990 zu stabilisieren, führt daher zu einer weiterhin deutlich steigenden CO₂-Konzentration in der Atmosphäre. Aus Artikel 2 der Klimarahmenkonvention resultiert somit die Forderung, daß je nach atmosphärischer Verweilzeit der Spurengase die anthropogenen Spurengasemissionen bis zur Mitte des kommenden Jahrhunderts bei CO₂ um 60 bis 80 %, bei N₂O um ca. 80 %, bei CH₄ um 15 bis 20 % und bei FCKW um 60 bis 90 % reduziert werden müssen. Die Landwirtschaft muß wie alle anderen Wirtschaftsbereiche ihren Beitrag zur Reduktion der klimawirksamen Spurengase leisten — mindestens in dem Umfang, der ihrem Anteil an den jeweiligen Emissionen entspricht.

Die Konvention zum Schutz der biologischen Vielfalt verlangt, daß jede Nutzung biologischer Ressourcen nachhaltig zu erfolgen habe, und das Konzept der nachhaltigen Nutzung in die nationalen Entscheidungsprozesse integriert werden muß. Die Rio-Deklaration hebt hervor, daß die Zielsetzung einer nachhaltigen Entwicklung und höherer Lebensqualität für alle Menschen es notwendig macht, nicht nachhaltige Konsum- und Produktionsweisen abzubauen (Grundsatz 5). In diesem Zusammenhang wird erstmals auf globaler Ebene das Verursacherprinzip grundsätzlich anerkannt und zugleich gefordert, dieses mit Hilfe eines verstärkten Einsatzes ökonomischer Instrumente sowie der Internalisierung externer Kosten durchzusetzen (Grundsatz 16). Die Walderklärung verlangt verbesserte gesellschaftliche Rahmenbedingungen, so u. a. nachhaltige Produktions- und Verbrauchsgewohnheiten, Armutsbekämpfung und Ernährungssicherung (BMU, 1992).

Besonders deutlich weist die Agenda 21 auf eine nachhaltige Landbewirtschaftung hin. Die Umsetzung der Agenda 21 ist eine weltweite Aufgabe. Alle Regierungen sind angehalten, entsprechende nationale Politiken, Strategien, Programme und Maßnahmen zu entwickeln und durchzuführen. Mehrere Kapitel der Agenda 21 befassen sich — mehr oder weniger direkt — mit der Ausgestaltung einer nachhaltigen Landbewirtschaftung und der nachhaltigen Nutzung von Landressourcen (Kap. 10 bis 16). Von entscheidender Bedeutung ist das Kapitel 14 mit dem Titel: „Förderung der nachhaltigen Landwirtschaft und der ländlichen Entwicklung“. Der erste Programmbereich innerhalb dieses Kapitels lautet: „Überprüfung der Agrarpolitik, Planung und Entwicklung integrierter Programme unter Berücksichtigung des multifunktionalen Aspekts der Landwirtschaft, insbesondere auf die Ernährungssicherheit und eine nachhaltige Entwicklung“. Begründet wird die Notwendigkeit einer umweltverträglichen und nachhaltigen Entwicklung im ernährungs- und agrarpolitischen Bereich mit dem weitgehenden Fehlen einheitlicher nationaler Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Landwirtschaft und ländliche Entwicklung. Dieser Mangel ist dabei keineswegs nur auf Entwicklungsländer beschränkt (BMU, 1992). Das Kapitel 14 enthält auch Programmpunkte mit direkter Bedeutung für eine klimaverträgliche Gestaltung der Landbewirtschaftung. So befassen sich Programmpunkte mit der Bodenerhaltung und -verbesserung,

mit der nachhaltigen Pflanzenernährung zur Steigerung der Nahrungsmittelproduktion und mit der Umstellung der ländlichen Energieversorgung zur Steigerung der Produktivität.

Die Notwendigkeit einer nachhaltigen und flächendeckend umweltschonenden Landbewirtschaftung findet auch zunehmend Eingang in die EU-Politik. Hier sei auf das Landwirtschaftskapitel des 5. Umweltaktionsprogramms der europäischen Gemeinschaften 1992 mit dem Titel: „Für eine dauerhafte und umweltgerechte Entwicklung“ verwiesen. Die Reform der gemeinsamen Agrarpolitik 1992 diente aber fast ausschließlich der Marktentlastung des Agrarmarktes und nicht der Neugestaltung einer umweltverträglichen und nachhaltigen Landbewirtschaftung. Anfang Mai 1993 erklärte hierzu die 40. EU-Umweltministerkonferenz ausdrücklich, daß die nachteiligen Auswirkungen der Landwirtschaft auf die Umwelt durch die Reform der EG-Agrarpolitik nicht wesentlich vermindert werden. Die flankierenden Maßnahmen der EG-Agrarreform unterstützen zwar umweltfreundliche Produktionsverfahren in der Landwirtschaft, jedoch nicht in dem erforderlichen Ausmaß (Kap. 1.1.4) (BMU, 1993 b). Dies liegt vor allem an ihrer geringen Gewichtung und einer demzufolge unbedeutenden finanziellen Ausstattung. Insgesamt beinhalten die aktuellen agrarpolitischen Beschlüsse keine klare und langfristige Perspektive für eine ökonomische und ökologische Konzeption zukünftiger Landbewirtschaftung. Die Maßnahmen zur Extensivierung werden weder ihrer marktentlastenden noch ihrer ökologischen Zielsetzung in einem Umfang gerecht, wie es der biotische und abiotische Ressourcenschutz erfordert (SRU, 1994). Insgesamt ist eine grundsätzliche Änderung der EU-Agrarpolitik aus betriebswirtschaftlicher, volkswirtschaftlicher und ökologischer Sicht weiterhin notwendig. So wie die Reform derzeit umgesetzt wird, ist sie zu bürokratisch, in der Marktentlastung wirkungslos, für die wettbewerbsfähigen Betriebsleiter und Hofnachfolger demotivierend und in den Verteilungswirkungen disparitatisch (Zeddies u. a., 1994) (Kap. 1.1.4.2).

4.1.8 Definition einer nachhaltigen Landbewirtschaftung

Die Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ empfiehlt daher als Leitbild für eine künftige, weltweit nachhaltige und damit auch gleichermaßen klima- und umweltverträgliche Landbewirtschaftung die folgende Definition:

Eine dauerhaft umweltverträgliche Landbewirtschaftung arbeitet weitgehend in Kreisläufen bei Schonung und dauerhaftem Erhalt der natürlichen Lebensgrundlagen (Boden, Wasser, Luft, Artenvielfalt) und der knappen Ressourcen (fossile Energieträger, mineralische Rohstoffe). Voraussetzung hierfür ist die Wiederherstellung der natürlichen ökosystemaren Regelsysteme und Stoffkreisläufe und die Einbindung und Anpassung der Landbewirtschaftungsmethoden in den Naturhaushalt. Der Energiebedarf in der Landwirtschaft und im ländlichen Raum ist weitgehend mit Hilfe regenerativer Energiequellen zu decken. Ziele der Land-

bewirtschaftung sind sowohl eine auf die Region ausgerichtete Versorgung der Bevölkerung mit gesunden Nahrungsmitteln und Rohstoffen als auch gleichermaßen die Schaffung bzw. Wiederherstellung und der Erhalt einer abwechslungsreichen, vielfältig strukturierten, arten- und biotopreichen Kulturlandschaft¹⁾ und die Sicherung und Entwicklung des ländlichen Raumes. Im Sinne einer Kreislaufwirtschaft ist außerdem die möglichst vollständige Rückführung unbedenklicher biogener Abfälle und Reststoffe und deren Verwertung innerhalb der Landwirtschaft anzustreben.

Die Beeinträchtigung des globalen Klimas ist eine wesentliche, aber dennoch nur eine weitere Facette der ökonomischen und ökologischen Krise der Landwirtschaft, vor allem in den Industrieländern. Mit einer nachhaltigen und umweltverträglichen Landbewirtschaftung könnten auf längere Sicht mehrere drängende Probleme gleichzeitig gelöst werden:

- Die unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten unerwünschten Agrarüberschüsse werden abgebaut,
- die Überschußexporte und damit der Preisdruck auf dem Weltmarkt wird verringert, woraus sich neuer Handlungsspielraum für künftige GATT-/WTO-Verhandlungen ergäbe,
- landwirtschaftliche Arbeitsplätze und eine ländliche Sozialstruktur bleiben erhalten oder werden neu belebt,
- die Verschwendung knapper Ressourcen wird durch weitgehend geschlossene Kreisläufe verringert,
- weniger belastete Nahrungsmittel werden umweltverträglich und nachhaltig produziert,
- regionale Umweltbelastungen aus dem Landwirtschaftssektor werden deutlich reduziert,
- die Kosten für die Umweltschäden²⁾ werden entsprechend gesenkt,
- die klimawirksamen Spurengas-Emissionen werden vermindert.

¹⁾ Der Erhalt der Kulturlandschaft ist in aller Regel an bestimmte Formen der Landnutzung gebunden. Daher sollte auf der gesamten Agrarfläche eine, den jeweiligen Standortgegebenheiten, den Belangen von Naturschutz und Landschaftspflege sowie dem ggf. kulturhistorisch geprägten Landschaftsbild entsprechende Bewirtschaftung aufrechterhalten oder wieder ermöglicht werden. Hierunter fallen häufig auch sehr extensive, aber gleichwohl zum Erhalt der Kulturlandschaft unabdingbar notwendige Formen der Bewirtschaftung (Streuobstwiesen, Wanderschäfferei etc.). Pflegemaßnahmen zum Erhalt einer Kulturlandschaft sollten daher die Ausnahme (z. B. bei Biotopen mit gefährdeten Arten) sein bzw. nur eine Übergangslösung bis zur Wiederherstellung einer Kulturlandschaft und ihrer typischen Bewirtschaftung darstellen.

²⁾ Die Kosten der Trink- und Brauchwasserversorgung wurden allein für das Jahr 1983 auf etwa 810 Mio. DM geschätzt. Davon entfielen etwa zwei Drittel auf die Einhaltung des Nitratgrenzwertes (50 mg NO₃-/l) und ein Drittel auf die Entfernung von Pflanzenschutzmitteln (Becker u. Guyomard, 1992). Die Entfernung von einem kg Stickstoff aus Trinkwasser kostet etwa 60,— DM.

In den folgenden Kapiteln werden sowohl konkrete technische und/oder politische Maßnahmen zur Reduzierung der Emission klimawirksamer Spurengase aus der Landwirtschaft als auch politische Handlungsempfehlungen zur Gestaltung einer künftigen nachhaltigen und zugleich umwelt- und klimaverträglichen Landbewirtschaftung diskutiert. Abschließend wird die Anpassungsfähigkeit der Landwirtschaft an die künftige Klimaänderung sowie weiterer Forschungsbedarf im Bereich Klimaänderung und Landwirtschaft dargestellt.

4.2 Handlungsoptionen auf nationaler und europäischer Ebene

Die in Kapitel 4.2 und 4.3 aufgeführten Maßnahmen stellen Optionen zur Verringerung der Spurengasemissionen aus der Landwirtschaft und zur Ausgestaltung der Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Landbewirtschaftung dar. Die aus diesen Optionen resultierenden Handlungsempfehlungen der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ sind Inhalt des Kapitels 4.4.

Oberstes Ziel aller Maßnahmen sollte der dauerhafte Erhalt einer weitgehend flächendeckenden Landbewirtschaftung sein. Keinesfalls dürfte die Umsetzung der Maßnahmen zu Lasten der Landwirtschaft erfolgen. Die Umsetzung aller Maßnahmen sollte gleichermaßen auf nationaler Ebene wie auch auf europäischer und globaler Ebene angestrebt werden. Gerade im Bereich der europäischen Landwirtschaft liegt die Rechtgebungskompetenz ohnehin häufig auf europäischer Ebene. Liegen bereits EU-Richtlinien oder Verordnungen vor, bedarf es der entsprechend konsequenten Umsetzung durch Bund und Länder (z. B. Nitratrichtlinie, flankierende Maßnahmen). Teilweise ist jedoch unter dem Aspekt des Klimaschutzes eine Nachbesserung bestehender Richtlinien und Verordnungen und deren stärkere Ausrichtung auf ökologische Ziele erforderlich. Soweit auf der Ebene der EU rechtliche Grundlagen fehlen, sollte sich die Bundesregierung für deren EU-weite Formulierung einsetzen. In diesen Fällen könnte zunächst — soweit möglich — ein beispielsetzender nationaler Alleingang erfolgen, in der Erwartung und mit dem Ziel, daß die EU diesem folgen wird. Aus Gründen der Wettbewerbsfähigkeit erfordert dies meist eine zusätzliche staatliche Unterstützung der Landwirtschaft, um höhere Produktionskosten oder geringere Einnahmen der Landwirte auszugleichen, was aber durch die sinkenden Agrarmarktausbgaben und externe Umweltkosten gerechtfertigt wäre. Der Mechanismus der Finanzierung des EU-Agrarmarktes erschwert derzeit einen nationalen Alleingang, da sich ein einseitiger Abbau der Überschußproduktion nicht bzw. kaum mindernd auf die deutschen Zahlungspflichten in die EU-Kasse auswirken würde, die deutsche Landwirtschaft aber gleichzeitig wesentlich geringere Ausgleichszahlungen aus der EU-Kasse erhalten würde. Die Bundesregierung sollte sich daher auf EU-Ebene dafür einsetzen, den Finanzierungsmechanismus dahin gehend zu ändern, daß ein nationaler Überschußabbau — der auch im Interesse der Gemeinschaft liegt — belohnt und nicht benachteiligt würde.

Bei der Ausgestaltung von Maßnahmen ist generell zwischen räumlich differenzierten und flächendeckenden Strategien zu unterscheiden. Beispiele für räumlich differenzierte Instrumente — beispielsweise zum Schutz des Trinkwassers vor Nitrat- und Pestizideinträgen — sind die Ausweisung von Wasserschutzgebieten mit bestimmten Bewirtschaftungsaufträgen oder regionale Kooperationen und Ausgleichszahlungen zwischen Wasserwirtschaft und Landwirten. Je differenzierter ein Instrument gestaltet wird, um so gezielter kann man sich der Ursache bestimmter Umweltprobleme — hier v.a. des Nitrataustrags in das Grundwasser — annähern. Hiermit wäre das Verursacherprinzip sehr gezielt umzusetzen, wobei zugleich Anpassungsprobleme und Ungerechtigkeiten auf Seiten der Adressaten vermieden würden. Andererseits führen Maßnahmen mit zunehmender Differenzierung zu einem exponentiell ansteigenden Verwaltungs- und Kontrollaufwand mit entsprechend hohen Kosten bei dennoch erheblichen Kontrolldefiziten. Gerade diese Kontrolldefizite waren und sind neben einer mangelnden Ausrichtung an Umweltzielen einer der wesentlichen Kritikpunkte an der bisherigen nationalen und EG-Agrarpolitik, sind einer der wesentlichen Schwachpunkte der EG-Agrarreform und sollten daher künftig vermieden werden. Eine weitere prinzipielle Beschränkung der regional differenzierten Vorgehensweise liegt darin begründet, daß großflächige und diffuse Schadstoffquellen — also die Mehrzahl der in der Landwirtschaft freigesetzten Emissionen — nur unzureichend erfaßt werden. Ebenso wenig ist der großflächig wirkende Eintrag von Luftschadstoffen aus Verkehr, Industrie etc. oder sogenannte Summations- und Distanzschäden, die die Landwirtschaft beeinträchtigen, durch regional begrenzte Maßnahmen zu unterbinden. Die Grenzen räumlich differenzierter und begrenzter Maßnahmen können nur durch einen flächendeckenden Ansatz behoben werden. Zugleich wären übergeordnete Schutzziele und -güter festzulegen und mit Hilfe integrierter Strategien umzusetzen. Bezogen auf das konkrete Beispiel des Trinkwasserschutzes (s.o.), folgt daraus, daß es nicht ausreicht, einzelne Wasserschutzgebiete auszuweisen und auf den nicht zu Wasserschutzgebieten erklärten Flächen weiterhin Schadstoffeinträge zu dulden und damit eine generelle Verschlechterung des Grundwasserzustandes bewußt in Kauf zu nehmen. Die Ausweisung von wesentlich weiter gefaßten Wassereinzugsgebieten könnte ein erster Schritt in diese Richtung sein. Statt dessen sollte das Grundwasser in seiner Gesamtheit als weitgehend ungestörtes Ökosystem erhalten und unter Vorsorgeaspekten in allen Wirtschaftsbereichen vor Verminde rung und jeglicher Verunreinigung geschützt werden (TAB, 1993 b). Diese Zielsetzung sollte auf den Schutz der Erdatmosphäre und des globalen Klimasystems entsprechend angewandt werden.

Leitbild eines flächendeckenden, umfassenden Umweltschutzes sollte daher nicht die oftmals anthropozentrische Ausrichtung auf den Erhalt bestimmter ausgewählter Funktionen einzelner Ökosysteme sein, sondern eine Ausrichtung auf den Schutz und Erhalt des ganzen Naturhaushaltes. Dies ist insbesondere von zentraler Bedeutung bei der Gestaltung und Umsetzung einer nachhaltigen Landwirtschaft bzw.

Wirtschaftsweise (Kap. 4.1.6). Die Entscheidung zwischen regional differenzierter und flächendeckender Vorgehensweise spielt eine gewisse Rolle bei der Diskussion und Bewertung der einzelnen, im folgenden dargestellten Handlungsoptionen.

Ansatzpunkte für flächendeckende Strategien liegen allgemein im Bereich der

- Modifizierung ökonomischer Rahmenbedingungen durch
 - Verteuerung umweltgefährdender Betriebsmittel bzw. Produktionsverfahren durch Abgaben und/oder Steuern;
 - Förderung umweltgerechter Produktionsverfahren durch Ausgleichszahlungen, Steuervergünstigungen und Subventionen;
- Inverkehrbringungsregelungen (derzeit erhebliche Vollzugsdefizite)
 - Anwendungsverbot;
 - Zulassungs- oder Anmeldeverfahren;
 - Mitteilungs- und Kennzeichnungspflicht;
- Regelungen zur Verwendung von Stoffen und Produkten durch
 - Produktbezogene Regelungen (z. B. Pflanzenschutzmittel-Anwendungsverordnung);
 - Verhaltensbezogene Regelungen (z. B. Düngeverordnung, Gülleverordnung);
- Information, Aufklärung, Bildung etc. (TAB, 1993 b).

Ein wesentliches und zugleich sehr effektives Instrument ist die Verteuerung von Produktionsmitteln (Mineraldünger, Importfuttermittel, Pflanzenschutzmittel, Treibstoffe etc.). Eine wirksame nationale Verteuerung landwirtschaftlicher Betriebsmittel würde die Einkommens- und Wettbewerbsverhältnisse massiv beeinflussen. Deshalb wäre es agrarökonomisch günstiger, ein solches System auf EU-Ebene einzuführen, wobei gleichzeitig ein Außenschutz denkbar und gerechtfertigt wäre, da die Konkurrenten auf dem Weltmarkt im Allgemeinen nicht unter vergleichbar umweltgerechten Rahmenbedingungen produzieren. Zudem ergäbe sich im Rahmen künftiger GATT-/WTO-Verhandlungen ein Verhandlungsspielraum aufgrund des Abbau der subventionierten Überschußexporte der EU.

Solange eine EU-weite Durchsetzung einer Betriebsmittelverteuerung nicht durchsetzbar ist, wäre auch eine nationale Vorreiterrolle denkbar. Die Landwirte sollten dabei durch vorübergehende direkte Einkommens transfers unterstützt werden. Sobald der EU-Finanzierungsmechanismus entsprechend geändert würde (s.o.), stünden aufgrund sinkender Markttordnungskosten und Exportsubventionen ausreichend Finanzmittel zur Verfügung.

4.2.1 Maßnahmen zur Reduzierung von Methanemissionen (CH₄)

Die Tierhaltung ist für den größten Teil der Methanemissionen aus der Landwirtschaft Mitteleuropas ver-

antwortlich. Methan wird in der Landwirtschaft vor allem bei der Verdauung durch die Wiederkäuer (Rinderhaltung) und bei der anaeroben Lagerung der Wirtschaftsdünger freigesetzt. Etwa drei Viertel der Methanemissionen stammen allein aus der tierischen Verdauung. Die deutliche Zunahme der Methanemissionen und weiterer Umweltbelastungen ist daher vor allem auf den starken Anstieg der Tierzahlen und im weiteren auf die wachsende räumliche Konzentration in der Tierhaltung und insbesondere die flächenungebundene Massentierhaltung zurückzuführen. Mit hohem Energieaufwand werden zudem erhebliche Mengen an Futtermitteln, zum Teil über große Entfernungen — auch aus Entwicklungsländern — zu den Tieren transportiert. Gleichzeitig müssen die regional im Übermaß anfallenden Exkremente mit hohem Energieaufwand verteilt, anderweitig verwertet oder entsprechend umweltbelastend auf den Flächen ausgebracht werden.

Um eine wesentliche Reduzierung der Methanemissionen zu erreichen, sollten daher gleichermaßen die absoluten Tierzahlen verringert und die Konzentration in der Tierhaltung beseitigt werden. Beides wäre auch im Hinblick auf die derzeitigen Überschüsse auf dem Milch- und Rindfleischmarkt der EG sinnvoll. Ein höherer Anteil pflanzlicher Nahrungsmittel hätte zudem die positiven Nebeneffekte, daß die Energiebilanz der Ernährung³⁾ wesentlich verbessert würde und zugleich eine ausgewogenere und gesündere Ernährung der Bevölkerung möglich wäre (Kap. 4.2.3.1).

4.2.1.1 Reduzierung der Tierbestände

Ein Abbau der Überschüsse, vor allem auf dem Milch- und Rindfleischmarkt wäre am ehesten durch eine deutliche Senkung der Tierzahlen zu erreichen. Die zur Reduzierung der Tierbestände bisher ergriffenen Maßnahmen, die Milchkontingentierung und die Rindfleischpreissenkung, haben in der Vergangenheit jedoch nur teilweise zur notwendigen Marktentlastung geführt. Die Zahl der Milchkühe ist zwar gesunken, dennoch gibt es — durch die Erhöhung der Produktionsintensität — nach wie vor deutliche Überschüsse. Die im Rahmen der EG-Agrarreform beschlossene Senkung der Rindfleischpreise wird wenig an der Überproduktion ändern können, da diese durch Ausgleichszahlungen betriebswirtschaftlich kompensiert werden (BML u. BMU, 1993).

Eine Option wäre die striktere Anwendung der bisherigen Instrumente, also eine deutlichere Senkung der Produktpreise und der Ausgleichszahlungen bzw. der Produktkontingente. Die Instrumente weisen aber die Nachteile auf, daß sie zu Einkommenseinbußen bei den Landwirten führen bzw. entsprechende Ausgleichszahlungen notwendig machen. Zudem werden freiwerdende Produktionskapazitäten möglicherweise zur Steigerung der Produktion in anderen Bereichen genutzt, was dort zu neuen Überschüssen

führt. Die Ausgestaltung der Instrumente sollte so gewählt werden, daß die Zielerreichung gewährleistet ist. Erfahrungen in der Vergangenheit zeigten, daß dies bisher nicht der Fall war.

Allgemein gültige Produktionsauflagen für eine umwelt- und klimaverträgliche sowie tiergerechtere Produktionsweise, wie z. B. die Umstellung der Fließmisch- auf die Festmistwirtschaft, böten einen anderen Ansatz, der auch zur Reduzierung der Tierbestände beitrüge. Sie steigern in der Tendenz die Verbraucherpreise und senken die Nachfrage, was auf die Produktionsmenge und damit auf die Tierbestände zurückwirkt.

Durch die Einführung von Abgaben und Rückerstattungen, die nach dem Grad der Umweltbelastung des Produktionssystems zu differenzieren sind, wäre ein für den Bereich Tierhaltung insgesamt relativ aufkommensneutrales Lenkungsinstrument verfügbar. Möglich wäre auch innerhalb der vorhandenen Marktordnung eine differenzierte Gestaltung des Einkommensausgleichs. Erhielten beispielsweise Betriebe mit einer tiergerechten und umweltverträglichen Tierhaltung einen höheren bzw. einen alleinigen Einkommensausgleich, würde hiermit eine Lenkungswirkung ausgeübt (Burdick, 1994). Eine vergleichbare Differenzierung wäre auch denkbar, um extensive Formen der Tierhaltung in Mittelgebirgsregionen und anderen benachteiligten Gebieten zu erhalten bzw. verstärkt zu fördern. Erste Ansätze für solche Maßnahmen gibt es bereits auf nationaler und EU-Ebene (z. B. EG-Bergbauernprogramm). Sie müßten jedoch erheblich ausgeweitet werden und konsequenter auf ökologische Belange ausgerichtet sein.

4.2.1.2 Bindung der Tierhaltung an die Fläche

Bei einer Bestandsdichte von 1,5 GVE⁴⁾/ha ist die Tierernährung auf betriebseigener Futtergrundlage ohne zusätzlichen Zukauf/Import von Futtermitteln möglich. Gleichzeitig ist sichergestellt, daß die Wirtschaftsdünger sinnvoll verwertet werden können, ohne die Umwelt durch eine Gülleausbringung im Stile einer „Abfallbeseitigung“ zu belasten. Die Umweltschäden würden bereits wesentlich verringert, wenn die Konzentration aufgelöst, die Massentierhaltung abgebaut, die Güllewirtschaft zurückgedrängt und die Tierhaltung gleichmäßig auf die Fläche verteilt würde, ohne daß die Tierzahlen absolut sinken.

Es gibt bisher keine betrieblichen Obergrenzen für die Gesamt tierzahl oder die Tierbesatzdichte. Die vorhandenen gesetzlichen Regelungen sehen ab bestimmten Tierzahlen lediglich bestimmte Auflagen oder Genehmigungspflichten vor. Seit der Novelle des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) vom 23. März 1993 sind selbst Rinderstallungen mit mehr als 350 Rindern keine genehmigungsbedürftigen Anlagen mehr. Aus Klimaschutzgründen sollte daher die Wiedereinführung oder ggf. Verschärfung von Genehmigungspflichten und Auflagen im Rahmen einer erneuten Novelle des BImSchG erwogen wer-

³⁾ In der Massentierhaltung müssen bis zu 35 Einheiten pflanzlicher Energie als Futter eingesetzt werden, um eine Einheit tierischer Energie im Endprodukt zu erzeugen (Lünzer, 1992 b).

⁴⁾ Eine Großvieheinheit je Hektar (1 GVE/ha) entspricht einem Tierbesatz von 500 kg Lebendgewicht.

den. Innerhalb der Agrarreform sind die Tierbesatzdichten oder Bestandsobergrenzen keine Ausschlußgrenzen, sondern lediglich Fördergrenzen.

Die momentan diskutierte Aufhebung der Flächenbindung der Milchquoten und die Einführung der — zumindest regional — freien Handelbarkeit der Quoten wirken hier kontraproduktiv. Die freie Handelbarkeit innerhalb von Regionen fördert die flächenunabhängige Tierproduktion und die Konzentrationstendenzen in der Tierhaltung. Weiter ist mit einem Abwandern der Quoten aus marginalen Grünlandgebieten zu rechnen, die einzig sinnvoll durch eine extensive Milchviehhaltung genutzt werden können (Priebe, 1994; Burdick, 1994). Daher wäre auch die Rückführung freierwender Quoten in Grünlandgebiete zu fördern.

4.2.1.3 Reduzierung der Methanemission je Produkteinheit

Ein Teil der aufgenommenen Futterenergie dient den Tieren zur Erhaltung ihrer Lebensfunktionen (Erhaltungsbedarf), der Rest wird entweder in Gewichtszunahme (Fleischzunahme) oder direkt in Verkaufsprodukte (Milch, Eier etc.) umgewandelt. In Abhängigkeit von der Verwertbarkeit des Futters geht ein nicht unerheblicher Teil der Energie ungenutzt verloren und wird überwiegend in Form von Methan abgegeben — bei Wiederkäuern bis zu zwölf Prozent der im Futter enthaltenen Energie. Eine höhere Futterverwertung, v.a. durch eine verbesserte Futterqualität und optimierte Zusammensetzung des Futters führt zwar bei höherer Futtermenge zu einer höheren Methanemission pro Tier, unter Umständen aber zu einer geringeren Methanproduktion je Produkteinheit.

Neben in der Praxis leicht umsetzbaren Möglichkeiten zur Methanreduktion bieten sich verschiedene, im Einzelfall sehr kritisch zu betrachtende Möglichkeiten an (EPA, 1992; In: Heyer, 1994):

1. Verbesserung der Futterzusammensetzung und -verwertung
 - Erhöhung der Verdaulichkeit durch mechanische oder chemische Behandlung des Futters;
 - Optimale Ausgewogenheit der Futterzusammensetzung durch Zugabe von limitierenden Nähr- und Wirkstoffen;
2. Leistungssteigerung durch Tierzüchtung;
 - Steigerung der Produktionsleistung und Wachstumsrate;
 - Steigerung der Reproduktion;
 - Verbesserung der Krankheitsresistenz;
3. Veränderung der Pansenmikroflora;
 - Gentechnologische Veränderung der Pansenmikroorganismen;
 - Biotechnologische Beeinflussung durch Zugabe spezifischer Hemmstoffe oder Antibiotika;

4. Leistungssteigerung durch Hormonzugabe (v.a. Wachstumshormone);
 - Rinder-Somatotropin (BST);
 - Anabole Steroide;
5. Verbesserung der Reproduktionsleistung (Beeinflussung der Fortpflanzung);
 - Erzeugung von Zwillingsgeburten;
 - Embryo-Transplantation;
 - Künstliche Besamung und Brunftsynchronisation.

Die drei letztgenannten Maßnahmen sind wegen Gefahren für die menschliche Gesundheit verboten bzw. nur in einigen Ländern zulässig (BST-Einsatz derzeit in USA, Brasilien, Mexiko, Namibia, Zimbabwe, Südafrika, Bulgarien, Tschechische Republik, Slowakien und GUS erlaubt), andere haben technische Grenzen (Veränderung der Pansenmikroflora) oder sind relativ teuer. Von wenigen Ausnahmen abgesehen sind die Reduktionspotentiale dieser Maßnahmen zudem gering. Der entscheidende Fehler ist aber, daß sie zwar allesamt geeignet sind, die Produktivität und Leistung einzelner Tiere in der Tierhaltung zu erhöhen. Eine höhere Einzeltierleistung führt aber insgesamt nur zur Reduzierung der Methanemissionen aus der Tierhaltung, wenn gleichzeitig die Anzahl der Tiere entsprechend reduziert wird. Ohne eine deutliche Änderung der Rahmenbedingungen werden jedoch Produktivitätssteigerungen — wie bisher auch — vor allem zur Steigerung der Produktion genutzt, aber weniger zur Abstockung (Verkleinerung) der Tierbestände oder Extensivierung der Produktion. Statt dessen ist zu befürchten, daß die Überschüsse weiter anwachsen.

4.2.1.4 Verringerung der Methanemissionen aus den Exkrementen

Die Methanemissionen aus tierischen Exkrementen haben vor allem durch die Flüssigmistsysteme, infolge anaerober Lagerungsbedingungen der Gülle (und Jauche) zugenommen. Die Flüssigmistsysteme in Deutschland verursachen etwa 90 % der Methanemissionen aus Tierexkrementen (Heyer, 1994). Hier sollten daher die Maßnahmen zur Reduktion der Methanemissionen ansetzen, insbesondere dort, wo durch eine Konzentration der Tierbestände kontinuierlich hohe Güllemengen anfallen. Neben der Reduktion der Tierbestände sind mögliche Handlungsoptionen beispielsweise die Verkürzung der Lagerzeiten von Gülle. Durch entsprechende Technik und Fruchtfolgegestaltung (z. B. Ausbringung mit Schleppschläuchen in den Bestand) könnten Ausbringungsintervalle verkürzt werden. Die Belüftung der Gülle (z. B. durch ein Rührwerk) — wie sie auch der ökologische Landbau befürwortet — verringert die Bildung von Methan. Gleichzeitig wird jedoch durch die Belüftung die Ammoniakbildung angeregt, was zur verstärkten Ammoniakemission und damit auch zu Stickstoffverlusten (Düngerwert) in der Gülle führt (Kap. 4.2.3).

Nicht belüftete Güllelager und -behälter sollten unbedingt abgedeckt werden. Das sich bildende Methan

sollte als Biogas aufgefangen und energetisch verwertet werden. Mit relativ geringen Kosten und einer einfachen Technologie könnte die Methanemission aus den Lagunen und Güllelagern um bis zu 80 % reduziert werden und dabei gleichzeitig Energie gewonnen werden (Heyer, 1994; Döhler, 1992). Bei der Verbrennung wird Methan zu Kohlendioxid oxidiert, das jedoch ein erheblich geringeres Treibhauspotential hat. Fallen kontinuierlich größere Güllemengen an, kann die Güllevergasung in speziellen Biogasanlagen (Biogasreaktoren) und die anschließende Energiegewinnung in dezentralen Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung sinnvoll sein. Hiermit könnten einzelne Bauernhöfe oder sogar ländliche Streusiedlungen — unabhängig von der öffentlichen Stromversorgung ihren Strom- und Wärmebedarf mit Hilfe regenerativer Energiequellen decken.

Der Nutzen der Biogastechnologie bei einer Behandlung der tierischen Exkremente besteht nicht nur in einer Reduktion der Methanemission und in der Gewinnung von Biogas als Energieträger, sondern auch in einer Reihe von weiteren Vorteilen (Heyer, 1994):

— Gewinnung eines organischen Düngers

Der nach Ablauf der anaeroben Fermentation verbleibende Rest enthält schwer abbaubare organische Verbindungen mit Lignozellulose als Hauptbestandteil sowie Ammonium, Phosphat und anderen Mineralstoffe und kann damit ein wertvoller Dünger sein.

— Geruchsbeseitigung

Die Ausbringung von unbehandelter Gülle führt zu einer erheblichen Geruchsbelästigung der Umwelt. Nach der Passage der Biogasanlage entstehen fast geruchlose Produkte.

— Teilhygienisierung

Während der Fermentation findet eine Abtötung von pathogenen Bakterien, Viren und Wurmeiern sowie die Verminderung der Keimfähigkeit von Unkrautsamen in der Gülle statt.

— Trennung von flüssiger und fester Phase

Zur Verregnung der flüssigen Phase ist eine Abtrennung der Festbestandteile notwendig. Bei Rindergülle macht dies den Einsatz von Separatoren notwendig. Nach Durchlaufen der Biogasanlage erfolgt die Trennung bereits durch Sedimentation.

— Vermeidung von Umweltbelastungen

Durch eine Behandlung der Gülle in abgeschlossenen Reaktoren können Umweltrisiken, die bei einer unkontrollierten Ausbringung und Lagerung von Überschußgülle auftreten, wie Ammoniakfreisetzung in die Atmosphäre, Trinkwasserverunreinigung, Kontamination von Grund- und Oberflächenwasser, Eutrophierung von aquatischen und terrestrischen Ökosystemen, vermieden werden.

Vor allem bei hoher Konzentration der Tierbestände, wo aus Rationalisierungsgründen die Flüssigmistsysteme vorherrschen, wäre der Bau von Biogasanlagen zumindest kurzfristig die zweckmäßigste Lösung. In

solchen Anlagen zur industriemäßigen Tierproduktion ist die anfallende Güllemenge so groß, daß eine umweltverträgliche Ausbringung auf die Felder nicht mehr möglich ist. Die Probleme bei der Beseitigung der Überschußgülle können mit einer Biogasanlage besser gelöst werden als mit Anlagen zur aeroben „Entsorgung“. Es gibt heute eine Vielzahl von Biogasanlagen, die sich in Technologie und Kapazität wesentlich voneinander unterscheiden. Welche Anlage für einen bestimmten Ort geeignet ist, hängt von den lokalen Bedingungen ab. Über die Größe der Anlage entscheidet die Menge der täglich anfallenden Gülle.

Weniger als 1 % der Gülle wird derzeit in Deutschland in Biogasanlagen behandelt. Durch eine weitere Verbreitung von Biogasanlagen könnte die Methanemission aus den Tierexkrementen um 70 % vermindert werden (Heyer, 1994). Zu bedenken ist jedoch, daß mit einem deutlichen Ausbau der Biogasanlagen möglicherweise eine zukünftige Abhängigkeit von den, auch aus anderen Gründen problematischen, Flüssigmistsystemen festgeschrieben wird. Es ist jedoch möglich, in Biogasanlagen auch andere biogene (Siedlungs-) Abfälle und Reststoffe zu verwerten. Die Methanbildung entzieht den Wirtschaftsdüngern (bzw. der organischen Substanz) den größten Teil des organisch gebundenen Kohlenstoffs. Hierdurch verringert sich der Eintrag von Kohlenstoff bzw. organischer Substanz in die Böden, was langfristig negative Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit haben könnte, da weniger Humus gebildet wird.

Auch wenn die Optimierungsmöglichkeiten bei Anfall, Lagerung und Ausbringung der Gülle ausgeschöpft würden, wäre es sinnvoll, die Güllewirtschaft generell einzuschränken, um eine Minderung der Emissionen zu erreichen. Flüssigmistsysteme führen bereits im Stallbereich zu höheren Methan- und Ammoniakemissionen als Festmistsysteme. Festmist hat eine deutlich bessere Wirkung auf die Bodenfruchtbarkeit als Gülle, die Nährstofffreisetzung erfolgt langsamer und anhaltender und die Verluste sind daher geringer. Da Festmistsysteme mit Einstreu zudem tiergerechter sind als Flüssigmist-Tierhaltungssysteme mit Spaltenböden, sollte die technischen Weiterentwicklung und Wiedereinführung bzw. Beibehaltung der Festmistwirtschaft gefördert werden (Kap. 4.2.3).

4.2.2 Maßnahmen zur Reduzierung von Distickstoffoxidemissionen (N_2O)

Distickstoffoxid-Moleküle haben eine lange Verweilzeit in der Troposphäre und sind daher nicht nur über lange Zeiträume treibhauswirksam, sondern gelangen bis in die Stratosphäre, wo sie — bislang zu wenigen Prozenten — am Abbau der Ozonschicht beteiligt sind. Der Einsatz von mineralischem und — zumindest regional — auch von organischem Stickstoffdünger ist in den Industrieländern sehr stark angestiegen. Dies führte zur Überdüngung der Ökosysteme, der Nitratbelastung der Nahrung und der Grund- und Oberflächengewässer sowie zu steigenden Distickstoffoxidemissionen. Aufgrund der bekannten ökologischen Probleme, die eine Stickstoff-

übersorgung mit sich bringt, dürfte Düngung nicht ausschließlich der vollständigen Ausschöpfung des Ertragspotentials dienen, sondern müßte verstärkt Aspekte des Umwelt- und Klimaschutzes berücksichtigen. Der Umwelt- und Klimaschutz sollte daher unbedingt in die allgemeinen Zielvorstellungen des Düngemittleinsatzes, wie sie in § 1 a des Düngemittelgesetzes formuliert sind, integriert werden. Daher wäre nachdrücklich eine deutlich reduzierte und am zeitlichen Bedarf der Pflanzen orientierte Zufuhr mineralischer und organischer Stickstoffdünger bei weitgehend geschlossenen Nährstoffkreisläufen in einer extensiven Landwirtschaft zu fordern. Notwendige Voraussetzungen hierfür wären beispielsweise die Verknappung und/oder Verteuerung mineralischer Stickstoffdünger, die gesetzlich verbindliche Regelung und Begrenzung des Düngemittleinsatzes, aber auch die Flächenbindung der Tierhaltung (Kap. 4.2.1.2).

Daneben gibt es zahlreiche Faktoren, die die N_2O -Freisetzung (gemeinsam mit der NO_x -Freisetzung) aus Böden steuern (Kap. 2.2). Viele davon können durch Bearbeitungsmaßnahmen beeinflusst werden. Alle Maßnahmen, die den Nährstoff-, Luft-, Wasser- und Temperaturhaushalt der Böden verändern, beeinflussen damit die Art und Intensität der biotischen Zersetzungsprozesse, bei denen N_2O und NO_x entstehen kann.

4.2.2.1 Flächenbezogene Stickstoffbilanzierung

Die wichtigste Maßnahme zur Verringerung der düngungsinduzierten N_2O -Emission ist die Vermeidung von Stickstoffüberschüssen, da hierdurch sowohl die Emissionen als auch die Stickstoffbelastung angrenzender Systeme wesentlich verringert werden können. Der Stickstoffeintrag hat sich daher nach dem Entzug der angebauten Kulturpflanze unter den gegebenen Standortbedingungen zu richten. Hierbei muß die standorttypische Stickstoffnachlieferung (Mineralisierung) während der Vegetationsperiode und das Ertragspotential der Kulturpflanze berücksichtigt werden. Ziel ist letztlich eine ausgeglichene Flächenbilanz zwischen den Stickstoffeinträgen und dem Stickstoffentzug durch das Erntegut. Deshalb müßten neben der Mineraldüngung auch alle weiteren Einträge über organische Wirtschaftsdünger und über die symbiotische N-Bindung (Leguminosenanbau), sowie der Stickstoffeintrag über die nasse und trockene Deposition in die Bilanzierung eingehen. Diese Einträge werden bisher nur unzureichend oder garnicht in die Düngeplanung einbezogen (Beese, 1994). Generell haben sich die Nährstoff-Bilanzüberschüsse in Deutschland seit Anfang der fünfziger Jahre beim Stickstoff versechsfacht und beim Phosphor und Kalium verdoppelt.

Eine Stickstoffbilanzierung kann auf der Ebene des Einzelbetriebes oder der Einzelfläche erfolgen. Eine betriebliche Nährstoffbilanzierung wird auch im Rahmen der — noch ausstehenden — Umsetzung der EG-Nitratrichtlinie (RL 91/676/EWG) gefordert. So ist die einzelbetriebliche Nährstoffbilanz auch Grundlage des derzeit vorliegenden BML-Entwurfes einer Düngeverordnung (vormals Düngemittelanwen-

dungsverordnung), durch die die Nitratrichtlinie in nationales Recht umgesetzt werden soll. Hiernach sollen alle in den Betrieb importierten und aus dem Betrieb exportierten stickstoffhaltigen Güter (Mineral- und Wirtschaftsdüngung, Futtermittel, Verkaufsprodukte etc.) erfaßt werden. Mit Hilfe von Normwerten für den Stickstoffgehalt dieser Güter soll eine Stickstoffbilanz erstellt werden. Der so geschätzte einzelbetriebliche Stickstoffüberschuß wird auf die bewirtschaftete Fläche umgerechnet. Die Stickstoffemissionen steigen mit der Höhe dieses Stickstoffbilanzüberschusses überproportional an. Die Bilanzierung wäre daher ein sehr effektives Instrument, das dem Verursacherprinzip gerecht würde und für das darüber hinaus eine relativ hohe politische Akzeptanz zu erwarten ist. Ein weiterer Vorteil wäre die Flexibilität dieses Instrumentes, da sich die Begrenzung je nach umweltpolitischen Erfordernissen für einzelne Betriebe oder Regionen differenzieren ließe. Der entscheidende Nachteil dieses Instrumentes ist aber der enorme nationale bzw. EU-weite Verwaltungs- und Kontrollaufwand, der entsprechende Probleme und Kontrolldefizite nach sich zieht. Es sei hier erwähnt, daß die Mehrzahl der landwirtschaftlichen Betriebe in Deutschland nach wie vor noch nicht buchführungspflichtig ist. Daher empfiehlt auch der Wissenschaftliche Beirat des Bundeslandwirtschaftsministeriums dieses Konzept nicht weiter zu verfolgen (BML, 1993 d).

4.2.2.2 Verteuerung und Begrenzung des mineralischen Stickstoffdüngers

Umweltverträgliche Landbewirtschaftung erfordert eine wirksame Herabsetzung der Bewirtschaftungsintensität, insbesondere der speziellen Intensität (Betriebsmitteleinsatz je Flächeneinheit bzw. je Tier). Der Stickstoffdüngung kommt hierbei eine Schlüsselrolle zu, da Stickstoff

- die größte ertragssteigernde Wirkung hat;
- in großen Mengen, z. T. verschwenderisch und umweltschädigend eingesetzt wird;
- in nahezu allen Kulturen angewandt wird;
- zusätzliche Pflanzenschutzmaßnahmen sowie eine höhere Versorgung mit anderen Nährstoffen nach sich zieht (Gesetz des Minimums);
- unter hohem Energieverbrauch hergestellt wird (Beese, 1994);
- nur mit hohem Aufwand und entsprechenden Kosten (ca. 60,— DM/kg N) aus Trinkwasser entfernt werden kann.

Der im Flächenmittel durch die Landwirtschaft verursachte jährliche Stickstoffeintrag ist selbst für die Erzeugung von Maximalerträgen weit überhöht. Durch Schließung der Stickstoffkreisläufe und durch die Vermeidung unproduktiver Stickstoffverluste ließen sich die Stickstoffemissionen mittelfristig deutlich vermindern. Solange der Stickstoffdünger so billig bleibt wie heute und solange ein Zwang zum Maximalertrag die Produktion beherrscht, ist mit einer drastischen Senkung der N-Düngung jedoch nicht zu

rechnen. Hier müßten politische Entscheidungen getroffen werden, um Landwirtschaft und Klimaschutz miteinander zu vereinen. Eine staatliche Legitimierung der Überdüngung kann nicht Sinn einer auf Nachhaltigkeit und Umweltschonung ausgerichteten Gesetzgebung für die Landbewirtschaftung sein (Beese, 1994).

Die Instrumente einer Stickstoffabgabe, -besteuerung oder -kontingentierung zielen auf eine deutliche Verteuerung bzw. Verknappung des Produktionsfaktors Stickstoff. Zudem können die externen Kosten des übermäßigen Düngemittleinsatzes internalisiert werden. Düngemittelabgaben, -steuern oder -kontingente stellen hierfür besonders effektive Instrumente dar, da sie beim „Flaschenhals“ Industrie bzw. Handel ansetzen und der Verwaltungsaufwand erheblich geringer ist, als bei der Durchsetzung und Kontrolle von Nährstoffbilanzen oder Bewirtschaftungsauflagen auf einzelbetrieblicher Ebene (Kap. 4.2.2.1).

Die Umsetzung einer Stickstoffabgabe oder -steuer sollte auch auf EU-Ebene und global angestrebt werden. Die Verteuerung belastet generell alle Landwirte, die mineralischen Stickstoffdünger einsetzen und trüge daher zur flächendeckenden Extensivierung bei. Die Verteuerung der Mineraldünger würde gleichzeitig Anreize zum effizienteren und damit umweltverträglicheren Einsatz der Wirtschaftsdünger sowie zur Auflockerung der Fruchtfolge durch den Anbau von stickstofffixierenden Zwischen- und Hauptfrüchten schaffen (UBA, 1993 a).

Stickstoffabgabe

Bei der Stickstoffabgabe erfolgt im Gegensatz zur Stickstoffsteuer ein direkter Ausgleich der landwirtschaftlichen Einkommensverluste durch Einkommensübertragung aus den Abgabeeinnahmen. Es gibt verschiedene Vorschläge zur Ausgestaltung einer Stickstoffabgabe.

1. Modell des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen (1985):

Geplant ist hier die Erhebung einer Abgabe auf mineralischen Stickstoffdünger. Gleichzeitig wird den Landwirten eine Ausgleichszahlung in Form eines Festbetrages je Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche gewährt. Die Höhe des Festbetrages bemißt sich nach der Abgabe, die auf den durchschnittlichen Einsatz von mineralischen Stickstoff in Deutschland in einem Referenzjahr zu zahlen wäre (SRU, 1985).

2. Modell von Professor Weinschenck (Universität Hohenheim):

Für dieses Modell gibt es zwei Varianten. Gemeinsam ist diesen Varianten, daß bei der Erhebung einer Abgabe auf mineralischen N-Dünger jeweils eine abgabefreie Grundmenge von etwa 80 kg N/ha zugestanden wird. In der ersten Variante wird die Abgabe für die ersten 80 kg N/ha gegen Verwendungs- bzw.

Kaufnachweis zurückerstattet. Der über 80 kg N/ha hinausgehende Stickstoffeinsatz bleibt abgabenbelastet.

In der zweiten Variante werden Wirtschaftsdünger einbezogen, um reine Ackerbaubetriebe nicht gegenüber tierhaltenden Betrieben zu benachteiligen (Kap. 4.2.2.3). Die Rückerstattung der Abgabe erfolgt gegen Verwendungs- bzw. Kaufnachweis bis zu einer abgabefreien Höchstmenge, die in Abhängigkeit vom Viehbesatz gestaffelt wird.

Tabelle 4.1

Staffelung der abgabenfreien Höchstmenge an mineralischem Stickstoff (kg N/ha) in Abhängigkeit vom Tierbesatz (DE¹)/ha (Weinschenck, 1987; Gottlieb, 1992)

Tierbesatz (DE/ha)	Abgabefreie Höchstmenge (kg N/ha)
0–1,0	80
1,0–1,5	60
1,5–2,0	20
2,0–2,5	–20
2,5–3,0	–60

¹) Eine Dungeinheit (1 DE) entspricht einem Tierbesatz, bei dem Wirtschaftsdünger mit einem Nährstoffgehalt von 80 kg Gesamtstickstoff, 70 kg Gesamthosphat und 100 kg Gesamtkali anfällt.

Der höhere Verwaltungsaufwand im Modell Weinschenck, insbesondere in der zweiten Variante, ist etwa vergleichbar mit dem Verwaltungsaufwand bei der Gasölverbilligung. Andererseits sind sowohl der Einkommensausfall als auch die Einkommensübertragung niedriger. Außerdem erlaubt die Veränderung der Höchstgrenze eine flexible Anpassung an verschiedene regionale oder betriebliche Bedingungen oder Anforderungen (Viehbesatzdichte, Wasserschutzgebiete, Sonderkulturen) (Weinschenck, 1987). Je nach Grad der Differenzierung führt dies jedoch zu einer problematischen Erhöhung des Verwaltungs- und Kontrollaufwandes.

Stickstoffsteuer

Für die Erhebung einer Stickstoffsteuer auf mineralische Stickstoffdünger bieten sich zwei grundsätzliche Möglichkeiten an.

- 1. Besteuerung mit einem konstanten Betrag pro Mengeneinheit des Stickstoffdüngers (z. B. DM/kg N).
- 2. Besteuerung mit einem festen oder progressiven Prozentsatz vom Geldwert des Stickstoffdüngers (z. B. Prozent/DM Aufwand).

Der zweite Ansatz hat den Vorteil, daß bei einer inflationsbedingten Erhöhung der Düngemittelpreise die Steuer in einem konstanten Verhältnis mit ansteigt, während bei dem ersten Ansatz — bei einer Besteuerung mit festem Betrag pro Mengeneinheit —

die Lenkungswirkung der Steuer abnimmt, wenn der Faktorpreis steigt.

Die Stickstoffsteuer ist im Gegensatz zur Abgabe nicht mit einer direkten Ausgleichszahlung verbunden. Von Seiten der Landwirtschaft ist daher mit einer geringeren Akzeptanz als bei einer Stickstoffabgabe zu rechnen. Die Notwendigkeit der EU-weiten Einführung wäre bei der Stickstoffsteuer noch stärker gegeben als bei der Stickstoffabgabe, die zunächst auch national eingeführt werden könnte.

Düngemittelabgaben bzw. -steuern sind in Österreich, Finnland, Norwegen und Schweden bereits eingeführt. Die Abgabesätze betrugen in Österreich 1988 umgerechnet 0,70 DM/kg Stickstoff, 0,40 DM/kg Phosphor und 0,20 DM/kg Kali, was einer Verteuerung des Stickstoffs um über 40 % (20 % bei Phosphor, 30 % bei Kali) entsprach. Der Stickstoffverbrauch sank nach Einführung der Abgabe nur um 11 %, der gesamte Handelsdüngerabsatz ging um fast 20 % zurück. In Schweden wurde im Wirtschaftsjahr 1988/89 ein kg Stickstoff mit 1,72 SKr Steuern und Abgaben belastet. Dies entsprach etwa 30 % des Düngemittelpreises. Die Stickstoffnachfrage blieb — auch aufgrund sinkender Energiepreise und steigender Produktpreise — konstant (UBA, 1994). Auch in der Schweiz liegen Vorschläge für eine Stickstoffsteuer vor. In England wird ebenfalls die Einführung einer Stickstoffsteuer diskutiert, um mit deren Einnahmen die Kosten der Wasseraufbereitung zu decken. In Frankreich sollen mit den Einnahmen aus der Stickstoffsteuer Ausgleichszahlungen finanziert werden, die durch Auflagen in Wasserschutzgebieten entstanden sind (Gottlieb, 1992). Der Wissenschaftliche Beirat des Bundeslandwirtschaftsministeriums empfiehlt die EU-weite schrittweise Verteuerung des Mineralstickstoffs, sobald sich abzeichnet, daß die Maßnahmen der EG-Agrarreform nicht zu einer ausreichenden Verringerung der Stickstoffbilanzüberschüsse führen (BML, 1993 d). Hiervon gehen derzeit zahlreiche Wissenschaftler aus (TAB, 1993 a; Henrichsmeyer, 1993, In: SRU, 1994) (Kap. 1.1.4.2).

Nach Henrichsmeyer (1990, In: UBA, 1993 a) ergäbe sich — ausgehend vom derzeitigen Stickstoffpreis von 1,15 DM/kg N — bei einer Stickstoffabgabe von 2 DM/kg N ein durchschnittlicher Rückgang der Düngungsintensität um 30 %. Um zu einer deutlichen Verringerung der Intensität, der Produktionsüberschüsse und damit auch der Umweltbelastungen und Emissionen zu gelangen, wäre demzufolge eine wesentlich höhere Stickstoffverteuerung erforderlich. Weinschenck (1987) schlägt beispielsweise einen viermal so hohen Stickstoffpreis (also 4 bis 5 DM/kg N) vor, um eine unter ökologischen Erfordernissen ausreichende Lenkungswirkung zu erzielen. Bei einer Erhöhung des Stickstoffpreises um das Vier- bis Sechsfache würden sich die Stickstoffeinträge und damit auch die Erträge so stark vermindern, daß neben der Umweltentlastung auch ein Marktgleichgewicht für Agrarprodukte in Europa erreicht würde (Zeddies u. a., 1992; Gebhard, 1986, Beide in: Ganzert, 1994). Auf diese Weise könnte die Flächenstilllegung durch eine N-Abgabe ersetzt werden. Mit der Höhe der Abgabe wächst der Anreiz, die Stickstoffdefizite durch Futtermittelzukaufe zu kompensieren.

Deshalb müßten auch außereuropäische Futtermittelimporte begrenzt bzw. verteuert werden (Ganzert, 1994) oder die Tierhaltung an die Fläche bzw. die betriebseigene Futtergrundlage gekoppelt werden (Kap. 4.2.2.3).

Stickstoffkontingentierung

Bei der Stickstoffkontingentierung wird durch die Vergabe von Lizenzen der Einsatz einer bestimmten Stickstoff-Gesamtmenge pro Betrieb oder Region zugelassen. Die Festlegung kann in Prozent der ursprünglich ausgebrachten Menge oder als fester Betrag pro Hektar — unabhängig von der bisherigen Ausbringungsmenge — erfolgen (Kling u. Steinhäuser, 1986, In: Gottlieb, 1992). Auf EU-Ebene wäre die einsetzbare Stickstoffmenge je Mitgliedsstaat einschließlich der wirtschaftseigenen Düngemittel auf niedrigerem Niveau festzulegen. Bei der Umsetzung in den Mitgliedsstaaten könnten regionale oder einzelbetriebliche Unterschiede berücksichtigt werden.

Der Vorteil der Kontingentierung gegenüber steuer- und preispolitischen Maßnahmen läge darin, daß man das Reduktionsziel bzw. die nach ökologischen Kriterien höchstens auszubringende Stickstoffmenge exakt festsetzen könnte. Die Festsetzung auf regionaler oder betrieblicher Ebene sollte prozentual von der bisherigen Ausbringungsmenge bemessen werden, da hiermit die bisherige Überdüngung „honoriert“ würde. Ein fester Höchstbetrag unabhängig von der bisherigen Ausbringungsmenge je Hektar erscheint gerechter und ökologisch wirksamer. Einer Differenzierung der Kontingentierung nach standörtlichen und betrieblichen Gegebenheiten sind jedoch verwaltungs- und kontrolltechnische Grenzen gesetzt (Gottlieb, 1992). Eine Kontingentierung ertragssteigernder Betriebsmittel wird als „der Gipfel des Interventionismus“ angesehen und würde vermutlich an der politischen Durchsetzbarkeit und dem hohen administrativen Aufwand scheitern (Köhne, 1989, In: Gottlieb, 1992). Die Verteuerung ertragssteigernder Betriebsmittel durch Abgaben oder Steuern scheint daher die praktikablere Lösung zu sein.

4.2.2.3 Bindung der Tierhaltung an die Fläche

Die Intensität und Konzentration in der Tierhaltung ist maßgeblich sowohl für die Höhe der Methanemissionen sowie — zumindest regional — für den überhöhten Stickstoffeintrag auf landwirtschaftlich genutzten Flächen verantwortlich. Die bisher vorgestellten Maßnahmen zur Reduzierung des Stickstoffeintrages wären daher nach Betriebsformen differenziert zu gestalten bzw. zu ergänzen.

Wie bereits bei den Maßnahmen zur Reduktion der Methanemissionen dargestellt, sollte auch zur Reduzierung der Distickstoffoxidemissionen sowie der Ammoniakemissionen (Kap. 4.2.3) die Bindung der Tierhaltung an die Fläche erfolgen. Wie in Kap. 4.2.2.1 genannt, müßte eine Nährstoffbilanzierung auf betrieblicher Ebene unbedingt den Gesamteintrag aus allen Quellen berücksichtigen. Um bei einer

Tabelle 4.2

Stickstoff-Feldbilanzen (kg N/ha LN) für jeweils drei repräsentative Betriebssysteme in Deutschland (nach Bach, 1987) bzw. Baden-Württemberg (nach van der Ploeg u. a., 1991; Beide in: Isermann, 1994)

Betriebssystem (DE ³ /ha); Tierart	Deutschland			Baden-Württemberg		
	Marktftr.	Futterb. 1,8; Rind.	Veredl. 3,0; Schw.	Marktftr.	Futterb. 1,6; Rind.	Veredl. 3,2; Schw.
N-Zufuhr						
— Mineraldünger	135	100	114	141	170	95
— Wirtschaftsdg. nach Ausschg. ¹⁾	—	180	300	—	160	320
nach Zufuhr ¹⁾	—	115	192	—	102	204
— Niederschlag	20	20	20	20	20	20
Gesamtzufuhr						
nach ¹⁾	155	300	434	161	350	435
nach ²⁾	155	235	326	161	292	319
N-Entzug durch die Pflanzen	-114	-135	-119	-118	-192	-111
N-Überschuß						
nach ¹⁾	+ 41	+165	+315	+ 43	+158	+324
nach ²⁾	+ 41	+100	+207	+ 43	+100	+208

1) unter Anrechnung der N-Ausscheidung je Dungeinheit mit 100 kg N
2) unter Anrechnung der N-Zufuhr in den Boden je Dungeinheit mit 64 kg N¹⁾ DE
3) L_{DE} = Dungeinheit; eine DE entspricht der Gülleproduktion der nach der jeweiligen Gülle-Verordnung festgelegten Tierzahlen.

Verteuerung mineralischer Stickstoffdünger tierhaltende Betriebe gegenüber reinen Ackerbaubetrieben nicht zu bevorzugen, wäre das Instrument einer Stickstoffsteuer, -abgabe oder -kontingentierung entsprechend zu differenzieren. Die Unterschiede in den Stickstoffbilanzen einzelner Betriebssysteme gehen aus Tab. 4.2 hervor.

Den Bilanzen in Tab. 4.2 ist zu entnehmen, daß — unter Vernachlässigung des relativ geringen Stickstoffentzuges durch die Tierhaltung — wachsende Stickstoffüberschüsse vom Marktfucht- über den Futterbau- zum Veredlungsbetrieb zu verzeichnen sind. Selbst bei dem relativ geringen Tierbesatz in den Futterbaubetrieben (1,6 bzw. 1,8 DE/ha LN) ergibt sich ein N-Bilanzüberschuß mindestens in der Höhe der zusätzlich ausgebrachten Mineraldüngermenge. In den Veredlungsbetrieben mit einem durchschnittlichen Tierbesatz von 3,0 bzw. 3,2 DE/ha LN übersteigt allein der N-Eintrag aus Wirtschaftsdüngern den Pflanzenentzug um das zwei- bis dreifache. Ein Tierbesatz von 1,5 bis 2,0 DE/ha LN würde ohne zusätzliche N-Mineraldüngung bereits eine ausreichende bedarfsgerechte Stickstoffversorgung sicherstellen.

Der Sachverständigenrat für Umweltfragen hat bereits in seinem Sondergutachten über Umweltprobleme der Landwirtschaft (1985) ausgeführt, daß in den vorliegenden Gülle-Verordnungen, insbesondere in Nordrhein-Westfalen, die Bestandsobergrenzen generell zu hoch bemessen wurden. Die tatsächlich zulässigen Nährstoffgaben übersteigen den Bedarf der Pflanzen wesentlich, teilweise um das Dreifache.

Der Sachverständigenrat empfahl daher als Obergrenze ebenfalls einen Wert von 1,5 bis 2 Dungeinheiten/Hektar, wobei von einem Nährstoffgehalt von nicht mehr als 80 kg Gesamtstickstoff und 70 kg Gesamtphosphat je Dungeinheit (DE) ausgegangen wurde (SRU, 1985).

Tabelle 4.3

Maximaler Pflanzenbedarf und Nährstoffgaben bei drei Dungeinheiten (DE) je Hektar (in kg/Hektar und Jahr) nach der Gülleverordnung in NRW (Böhnke, 1984; In: SRU, 1985)

Nährstoff	maximaler Bedarf der Pflanzen	Rinder-gülle 4,5 Rinder	Schweine-gülle 21 Schweine	Hühner-gülle 300 Hühner
Stickstoff	160—240	423	252	252
Phosphat	70— 90	216	189	201

Bei der Umsetzung der EG-Nitratrichtlinie (RL 91/676/EWG) in nationales Recht wäre daher eine absolute Düngungshöchstmenge (Summe aller Wirtschaftsdünger und Mineraldünger) von normalerweise 120 kg N/ha (entspricht 1,5 DE/ha), bzw. übergangsweise in Ausnahmefällen bis zu 170 kg N/ha zu fordern. Daneben müßte die Nährstoffmenge je Dungeinheit verbindlich definiert werden. Die Ausbringungszeiträume für Wirtschaftsdünger, ins-

besondere für Gülle wären so festzulegen, daß generell eine Ausbringung im Zeitraum von November bis einschl. Februar untersagt werden sollte. Daneben sollten für die Lagerung und Ausbringung bestimmte Regelungen und Techniken verbindlich vorgeschrieben werden (Kap. 4.2.3). Voraussetzung für die Festlegung von Düngungshöchstgrenzen im Rahmen einer Düngeverordnung ist das Inkrafttreten des Kreislaufwirtschaftsgesetzes.

Nur durch eine strikte Bindung der Tierzahl an die Fläche könnte der Tierbestand von der betriebseigenen Futterfläche ernährt und ökonomisch sowie ökologisch schädliche Futtermittelimporte vermieden werden. Jährlich gelangen etwa 500 000 t Stickstoff und 190 000 t Phosphat durch die Futtermittelimporte in den Nährstoffkreislauf der alten Bundesländer (Lesér, 1993). Um die relativen Preisvorteile der Importfuttermittel zu verringern, wäre daher in Kombination mit einer mengenmäßigen Begrenzung und/oder Verteuerung des Mineralstickstoffs auch eine mengenmäßige Begrenzung und/oder Verteuerung der Importfuttermittel einzuführen. Dies förderte gleichzeitig die Verwertung von Getreideüberschüssen auf dem Binnenmarkt, entlastete damit den Weltmarkt und verringerte die finanzielle Belastung der Gemeinschaft durch die Exportsubventionen. Der Ersatz der Importfuttermittel durch Eigenerzeugung würde zudem die angestrebte EU-weite Flächenstilllegung von ca. 10 Mio. ha erübrigen (Scholz, 1990, In Isermann, 1994). Die Getreidepreissenkungen infolge der EG-Agrarreform sowie die Gewährung von Ausgleichszahlungen für Getreideflächen bei innerbetrieblicher Verfütterung des Getreides wirken bereits in diese Richtung. In den Niederlanden wird derzeit eine Futtermittelabgabe von 6 Mio. Gulden jährlich erhoben, die für die Forschung über umweltfreundliche Produktionsverfahren verwandt werden (UBA, 1994).

4.2.2.4 Bewirtschaftungsmaßnahmen zur Beeinflussung der Distickstoffoxidemissionen

Neben der absoluten Menge an zugeführtem Stickstoff in Wirtschafts- und/oder Mineraldüngern hängt die Höhe der Distickstoffoxidemissionen auch von Art und Zeitpunkt der Düngung ab. Darüber hinaus beeinflussen Maßnahmen, die zu Veränderungen des Nährstoff- (Kohlenstoff-), Luft-, Wasser- und Temperaturhaushaltes der Böden führen, die Art und Intensität der biotischen Zersetzungsprozesse, bei denen N_2O und NO_x entstehen kann. Erhöhte N_2O - und NO_x -Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden können im wesentlichen auf folgende Bewirtschaftungsmaßnahmen zurückzuführen sein:

- Art und Zeitpunkt der Düngung
- Fruchtfolgegestaltung
- Bodenbearbeitung
- Be- und Entwässerung

Art und Zeitpunkt der Düngung

Neben der Dünghöhe beeinflusst auch die Düngart die N_2O -Emissionsraten. Stickstoffdünger, die

Ammonium enthalten oder dazu umgesetzt werden, zeigen in der Regel höhere N_2O -Verluste als reine Nitratdünger, da bei letzteren die N_2O -Bildung auf die Denitrifikation beschränkt ist. Bei Ammoniumdüngern kann N_2O sowohl während der Nitrifikation als auch bei der nachfolgenden Denitrifikation gebildet werden. Der Einsatz von Nitrifikationshemmern kann verhindern, daß der Stickstoff erst nitrifiziert wird, bevor er von den Pflanzen aufgenommen wird. Beim Einsatz dieser Agrochemikalien ist allerdings auf mögliche negative Nebeneffekte zu achten (Beese, 1994).

Auch organische Wirtschaftsdünger (z. B. Gülle oder Stallmist) können die Ursache für erhöhte N_2O -Bildung sein. Der Eintrag leicht zersetzbarer organischer Substanz begünstigt durch eine gesteigerte Mikrobenatmung das Entstehen von kleinräumigen anaeroben Bereichen, in denen die Voraussetzung für die Denitrifikation gegeben sind. Die Förderung anaerober Zersetzungsprozesse durch ein zu tiefes Einarbeiten der organischen Dünger muß deshalb speziell auf schweren und zur Staunässe neigenden Böden vermieden werden (Beese, 1994).

Die Reduktion der Stickstoffdüngung auf ein entzugsorientiertes Niveau sollte mit der Steigerung der Düngeeffizienz verbunden werden. Anhand der Ergebnisse zahlreicher Düngungsversuche läßt sich für fast alle Kulturpflanzen der Stickstoffbedarf zu bestimmten Entwicklungsstadien ableiten. Die mengenmäßige und zeitliche Dosierung der Düngung sollte hierauf abgestimmt werden. Auch sind für Gülle- und Mineraldüngung die Zeitspannen bekannt, in denen die Ausbringung unterbleiben sollte, wenn keine entsprechende Stickstoffaufnahme durch die Kulturpflanzen stattfindet und die Denitrifikations- und Auswaschungsgefahr hoch ist. Die Ermittlung des Nitratvorrates im Boden zu Vegetationsbeginn (z. B. Nmin-Methode) ermöglicht es, die erste Stickstoffgabe gezielt auf die Ansprüche der Pflanze sowie die Standortverhältnisse abzustimmen. Auch die Verbesserung der Verteilgenauigkeit bei der Düngerausbringung, zum Beispiel durch den Einsatz flüssiger Mineraldünger, die mit der Pflanzenschutzspritze ausgebracht werden können, steigert die Effizienz der Düngemaßnahme, da eine lokale Über- bzw. Unterdüngung verringert wird. Die teilweise N-Versorgung der Pflanzen über das Blatt sollte stärker beachtet werden (Beese, 1994).

Fruchtfolgegestaltung

Pflanzenkulturen, bei denen aufgrund stickstoffreicher Ernterückstände nach der Ernte größere Mengen an leicht verfügbarem Stickstoff auf dem Feld verbleiben (z. B. Leguminosen, Zuckerrüben, Raps), sind hinsichtlich der N_2O -Freisetzung „kritische Feldfrüchte“, da einerseits die Gefahr der N_2O -Produktion durch die Denitrifikation in den Wintermonaten besteht und andererseits die Stickstoffauswaschungsgefahr sehr hoch ist. Dem hohen Stickstoffangebot nach der Ernte wäre durch einen gezielten nachfolgenden Anbau von überwinternden Pflanzen als Zwischen- oder Hauptfrucht Rechnung zu tragen, die noch im Herbst eine hohe Stickstoffaufnahme aufwei-

sen. Dies sollte insbesondere beim Anbau von Leguminosen beachtet werden, die aufgrund der symbiotischen Stickstoffbindung große Stickstoffmengen anreichern können. Das Einbringen von Untersaaten, der Zwischenfruchtbau oder der Anbau von Mischkulturen ist ebenfalls eine effiziente Maßnahme, um den Stickstoffüberschuß nach der Ernte der Leguminosen zu verringern (Beese, 1994).

Durch die Spezialisierung der landwirtschaftlichen Betriebe und den Import/Zukauf von Futtermitteln sowie die Ausweitung des Maisanbaus (Abb. 2.14) hat die Abfuhr und Nutzung nährstoffreicher Ernterückstände und Zwischenfrüchte als Tierfutter stark abgenommen. Hierdurch ist die Gefahr der N_2O -Bildung speziell nach dem Einarbeiten der großen Mengen organischer Substanz angestiegen. Eine Abnahme und Verwertung der Ernterückstände (z. B. Zuckerrübenblatt) durch viehhaltende Betriebe verringert diese Gefahr (Beese, 1994).

Bodenbearbeitung

Sauerstoffmangel im Boden begünstigt die Denitrifikation und ist eine wichtige Ursache für erhöhte N_2O -Emissionen. Der Erhalt einer günstigen Bodenstruktur ist eine Voraussetzung für die gute Durchlüftung des Bodens und den aeroben Abbau der organischen Substanz. Bodenverdichtung durch den Einsatz schwerer Maschinen sowie durch einen falschen Bearbeitungszeitpunkt müssen deshalb vermieden werden. Nach dem Einarbeiten von leicht verfügbarer organischer Substanz (Ernterückstände, organische Dünger) können durch den gesteigerten mikrobiellen Sauerstoffverbrauch auch bei geringeren Wassergehalten kleinräumig anaerobe Zonen entstehen, in denen N_2O gebildet wird. Um diese anaeroben Stoffumsetzungen nicht zu fördern und eine gute Sauerstoffzufuhr zu gewährleisten, ist speziell auf schweren Böden ein flaches Einarbeiten der organischen Rückstände vorteilhaft. Soweit möglich, ist eine gleichmäßige Verteilung der organischen Dünger auch auf Viehweiden notwendig. Die ungleichmäßige Ablage des Harns und Kots der Weidetiere kann punktuell zu erheblichen gasförmigen N-Verlusten bzw. Nitratauswaschungen führen (Beese, 1994).

Be- und Entwässerung

Die Wirkung von Be- und Entwässerung auf die N_2O -Freisetzung aus Mineralböden wird unterschiedlich beschrieben. Drainierte organische Böden (Anmoore, Niedermoore) unter landwirtschaftlicher Nutzung zeigen fast immer extrem hohe N_2O -Emissionsraten, die die N_2O -Freisetzung mineralischer Ackerstandorte um ein Vielfaches übersteigen. Im Gegensatz hierzu, sind naturnah belassene, wassergesättigte bzw. überstaute organische Böden, Hochmoore, sehr geringe N_2O -Quellen.

Durch die Entwässerung und die damit verbundene Belüftung des Bodens setzt eine sehr intensive Stickstoffmineralisation ein, die den Bedarf der Pflanzen oft bei weitem übersteigt. Dies führt zur Stickstoffauswaschung mit dem Drainagewasser und damit zur Stick-

stoffbelastung angrenzender Ökosysteme. Auf die zusätzliche Inkulturnahme von naturnahen Mooren sollte deshalb auch hinsichtlich der Vermeidung zusätzlicher N_2O -Emissionen unbedingt verzichtet werden. Da nach der vollständigen Wassersättigung organischer Böden nahezu keine N_2O -Freisetzung mehr festzustellen ist, dürfte die Renaturierung entwässerter Mooregebiete durch das Anheben des Grundwasserspiegels zu einer deutlichen Reduzierung der N_2O -Emissionen führen (Beese, 1994).

Die Bewässerung von landwirtschaftlich genutzten Flächen sollte so gestaltet werden, daß die N-Auswaschung gering ist und daß bei der Bewässerung keine anoxischen Bedingungen in den Oberböden auftreten. Das notwendige „Durchwaschen“ von Böden zur Entsalzung hat zu Zeiten geringer N-Gehalte und biotischer Aktivität in den Böden zu erfolgen (Beese, 1994).

4.2.3 Maßnahmen zur Reduzierung von Ammoniakemissionen (NH_3)

Die Ammoniakemissionen sind nicht direkt klimawirksam, tragen aber erheblich zur Eutrophierung natürlicher und naturnaher Ökosysteme bei und verstärken deren Freisetzung von Distickstoffoxid (N_2O) und anderen stickstoffhaltigen Spurengasen sowie die Auswaschung von Nitrat. Daneben ist der Ammoniak-eintrag wesentlich (zu etwa 25—30 %) an der Versauerung der Böden und der daraus resultierenden Schädigung der Ökosysteme (z. B. Waldsterben) beteiligt (Abschnitt C, Kap. 3.5.3). Für die Versauerung sind des weiteren vor allem die Stickoxide und Schwefeldioxid aus der Verbrennung fossiler Energieträger, v.a. im Verkehrsbereich verantwortlich.

National wie global sind Ammoniakemissionen fast ausschließlich der Landwirtschaft zuzuschreiben und hier zu etwa 90 % der Tierhaltung. Etwa die Hälfte der Ammoniakemissionen stammt aus der Rinder- und Milchviehhaltung und etwa ein Drittel aus der Schweinehaltung. Ammoniak entsteht im Stallbereich, bei der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern (v.a. in der Güllewirtschaft) sowie bei der Weidewirtschaft. Aus dem Harnstoff in den Tierfäkalien wird mikrobiell Ammonium (NH_4^+) gebildet, das als Ammoniak gasförmig entweicht. Die restlichen 10 % der Ammoniakemissionen entstehen bei der Herstellung und Ausbringung mineralischer Stickstoffdünger (Kap. 2.4.1).

4.2.3.1 Reduzierung der Tierbestände/Bindung der Tierhaltung an die Fläche

Da die Ammoniakemissionen nahezu ausschließlich aus der Tierhaltung und hier v.a. aus der Güllewirtschaft stammen, wäre eine Reduktion der Ammoniakemissionen in erster Linie durch die Verringerung der Tierbestände und den Abbau der Konzentration in der Tierhaltung zu erzielen. Die bereits zur Reduktion der Methanemissionen (Kap. 4.2.1.1, 4.2.1.2 und 4.2.1.4) bzw. der Distickstoffoxidemissionen (Kap. 4.2.2.3) vorgeschlagenen Maßnahmen verringern daher gleichermaßen die Ammoniakemissionen. Wie

dort bereits erwähnt, wäre die Reintegration von Tierhaltung und Pflanzenbau eine unerläßliche Voraussetzung für die Wiedereinführung einer tierartgerechten Festmistwirtschaft mit Stroheinstreu, die im Vergleich zur Güllewirtschaft eine wesentlich geringere Freisetzung von Ammoniak, aber auch von Methan aufweist (Isermann, 1994).

Zur Emissionsminderung sowie zur Durchsetzung der Flächenbindung der Tierhaltung wäre die Einführung einer Abgabe/Besteuerung der Nährstoffüberschüsse in Wirtschaftsdüngern, insbesondere der Gülleüberschüsse geeignet. In den Niederlanden wird derzeit eine Überschußabgabe eingeführt, die hier jedoch auf den — über den gesetzlichen Standard hinaus — anfallenden organischen Phosphor erhoben wird. Diese Abgabe wird voraussichtlich ein Volumen von 43,5 Mio. Gulden haben und soll vorrangig in die Güllaufbereitung investiert werden. Über Güllbanken und -aufbereitungsanlagen soll eine regionale Umverteilung zwischen Regionen mit Gülleüberschüssen und solchen mit Bedarf an organischen Nährstoffen erreicht werden. Die Kosten der Güllverarbeitung werden für das Jahr 2000 auf etwa 800 Mio. DM geschätzt und wären somit bei weitem nicht gedeckt. Daher wird in den Niederlanden u. a. die Einführung einer Abgabe auf Ammoniakemissionen aus der Tierhaltung erwogen (UBA, 1994).

Um die Flächenbindung und einen Rückgang der Güllwirtschaft zu erzielen, wäre die Einführung einer Güllaufgabe bei Überschreiten von 1,5 DE/ha LN möglich. In Abhängigkeit von der eintretenden Lenkungswirkung sollte diese Abgabe ggf. in den Folgejahren weiter ansteigen. Ein Teil der Einnahmen aus der Abgabe sollte kurzfristig für den Abbau der regionalen Überschüsse (regionale Umverteilung durch Güllbanken), für die Güllaufbereitung und -vergasung (Biogas) bzw. für die Verbesserung der Ausbringungstechnik eingesetzt werden. Der überwiegende Teil der Einnahmen sollte jedoch zur Finanzierung einer Umstellung auf Festmisthaltungssysteme verwandt werden.

Die Eiweißversorgung der Bevölkerung liegt in Deutschland etwa doppelt so hoch wie der Bedarf, wobei die Versorgung bereits zu zwei Dritteln durch tierisches und nur zu einem Drittel durch pflanzliches Eiweiß erfolgt. Diese Eiweißübersorgung verursacht im Bereich der Tierhaltung erhebliche Emissionen. Aber auch die der menschlichen Ernährung nachgelagerten Bereiche (Abwasserreinigung, Siedlungsabfälle) sind aufgrund des Eiweiß- und Stickstoffüberschusses zu erheblichen Stickstoff-Emissionsquellen geworden.

Der Verzehr an Fett liegt etwa 80 % über dem Bedarf. Dies hat zur Folge, daß fast die Hälfte aller Deutschen an Übergewicht und mehr als 10 % an Fettsucht leiden. Der vom Bundeslandwirtschaftsministerium mitherausgegebene Ernährungsbericht 1992 weist darauf hin, daß zunehmender Fleischkonsum das Risiko von Darm- und Bauchspeicheldrüsenkrebs, Gicht und Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems erhöht. Auch eine nationale Verzehrsstudie (BMFT 1991, In Isermann, 1994) kommt zu dem Ergebnis, daß die Deutschen zu viel, zu fett und zu eiweißreich, insbesondere aber zu viel Fleisch essen. Eine bedarfs-

orientierte und ausgewogene Versorgung der einheimischen Bevölkerung durch den Abbau der Eiweißübersorgung in der Ernährung sowie die ausgewogene Versorgung je zur Hälfte mit tierischem und pflanzlichem Eiweiß könnte die Tierbestände und die damit verbundenen Stickstoffbilanzüberschüsse sowie die Ammoniakemissionen national um 40 bis 50 % reduzieren (Isermann, 1994). Die Rückführung der Eiweißübersorgung könnte durch die Internalisierung der externen Kosten der Tierproduktion und der Nährstoffüberschüsse (Abwasserreinigung, Siedlungsabfälle), beispielsweise durch deren Anlastung an die Tierhaltung bzw. die Fleischproduktion erfolgen.

4.2.3.2 Reduzierung der Ammoniakemissionen je Produkteinheit

Maßnahmen zur Verbesserung der Produktivität des Einzeltieres (Tierernährung, -züchtung, -medizin), die bereits im Zusammenhang mit der Reduktion der Methanemissionen (Kap. 4.2.1.3) dargestellt wurden, gelten vergleichbar auch für die Verringerung der Ammoniakemissionen. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die Tierfütterung. Eine bedarfsgerechte und ausgewogene Ernährung, die sowohl Über- als auch Unterversorgung mit einzelnen Nährelementen, Mineralstoffen, Vitaminen, Aminosäuren etc. vermeidet, verhindert entsprechende unproduktive Verluste und überhöhte Stickstoffgehalte in den Tierfäkalien. Ebenso wie für die pflanzliche Ernährung gilt auch für die tierische (und menschliche) Ernährung das Gesetz des Minimums (Kap. 3.1.1.1). Die Futterration ist daher in ihrer Zusammensetzung, Menge und Qualität dem jeweiligen Bedarf der Tiere im Verlauf der Mast (z. B. Zwei- bzw. Mehrphasenfütterung) bzw. entsprechend der Einzeltierleistung (z. B. Tagesmilchleistung, Tageszunahme, Laktationsdauer) anzupassen. In Bezug auf die Stickstoff- bzw. Eiweißzufuhr ist vor allem auf eine optimale Versorgung mit den notwendigen essentiellen Aminosäuren zu achten. Durch den gezielten Einsatz limitierender essentieller Aminosäuren (ggf. durch die Zufütterung geschützter Proteine) ist eine generelle Herabsetzung des Rohproteingehaltes der Futterrationen und damit zugleich des Reststickstoffgehaltes in den Tierfäkalien möglich. Analog sind vergleichbare Schritte (Futterkomponenten mit hoher Phosphorverdaulichkeit; Zugabe mikrobieller Phytase im Futter) auch für die Optimierung der Phosphor-Versorgung der Tiere möglich. Phosphate sind neben Ammoniak und anderen N-Verbindungen maßgeblich an der Eutrophierung von Oberflächengewässern und anderen Ökosystemen beteiligt. Zahlreiche Untersuchungen haben eine Reduzierung der N- und P-Ausscheidungen von bis zu 50 % infolge der beschriebenen Fütterungsmaßnahmen festgestellt (Spiekers, 1992; Pessara u. a., 1992; Van Vuuren u. Meijs, 1987, In: Isermann, 1994; Spiekers, 1993; Schwarz, 1993, Beide in: Nischwitz, 1994).

4.2.3.3 Gewinnung, Lagerung, Aufbereitung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern

Jeweils 15 % der Ammoniakemissionen entstehen im Stallbereich bzw. bei der Lagerung des Flüssig- und

Festmistes. Weitere 25 % entgasen beim Weidegang der Tiere. 35 % der Verluste entstehen bei der Ausbringung der Wirtschaftsdünger, insbesondere der Gülle (Döhler, 1991 b).

Stallbereich

Ammoniak hat einen hohen Dampfdruck. Je länger die harnstoff- bzw. ammoniumhaltigen Fäkalien der Luft ausgesetzt sind bzw. je größer die Oberfläche mit Luftkontakt ist und je höher die Umgebungstemperatur ist, desto mehr Ammoniak entweicht in die Luft. Beim Flüssigmist treten die höchsten Emissionen auf, v.a. abhängig von der Stalltemperatur, dem Querschnitt der Güllekanäle und der allgemeinen Stallhygiene (Nachspülen mit Wasser). Beim Rottemist sind die Emissionen etwas geringer und hängen hier vor allem vom Strohzusatz ab. Je mehr trockenes Stroh zugesetzt wird, desto höher sind die NH_3 -Emissionen. Die geringsten Emissionen entstehen bei der Tiefstallmistwirtschaft (Kaltmist), da hier der Mist feucht und fest gelagert wird. Hier bestätigt sich die alte Lehrmeinung: „Halt' ihn feucht und tritt ihn feste, das ist für den Mist das Allerbeste“ (Kempkens, 1991; Isermann, 1994). Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Aufstellungsverfahren bezüglich der Höhe der Ammoniak-Emissionen im Stallbereich sind jedoch nicht so gravierend wie im Bereich der Lagerung und Ausbringung. Die Ammoniakemissionen aus der Hühnerhaltung sind besonders hoch, da die Tiere ein Kot-Harn-Gemisch mit hohen Ammoniumgehalten ausscheiden. Die hohen Emissionen, insbesondere aus der nicht tiergerechten Käfighaltung, können durch möglichst raschen bzw. kontinuierlichen Abtransport der Fäkalien und deren Trocknung oder Verflüssigung (Aufschwemmen in Wasser) sehr deutlich reduziert werden. Anzustreben ist aber auch hier eine Umstellung auf emissionsarme und tiergerechte Haltungssysteme.

Das Ausmaß der Ammoniakausgasung im Stallbereich hängt wesentlich von der Luftgeschwindigkeit und -temperatur ab. Im Stallbau, insbesondere für die Schweinehaltung, sollte man daher auf Systeme zurückgreifen, bei denen sowohl die Zulufttemperatur als auch die Luftgeschwindigkeit niedrig gehalten werden kann. Des weiteren lassen sich die Emissionen aus dem Stallbereich durch eine Stalluftreinigung mit Biofiltern und Biowäschern reduzieren, was jedoch hohe Investitionen erfordert.

Lagerung

Festmist sollte generell kühl und feucht gelagert werden. Diese Bedingungen sind am ehesten bei der Lagerung des Tiefstallmistes im Stall gegeben. Bei Tiefstallmistwirtschaft erfolgt die Gewinnung und Lagerung am gleichen Ort, im Stall. Daher müssen die Emissionen im Tiefstall verglichen werden mit den Emissionen aus der Rottemist- bzw. Flüssigmistgewinnung im Stall zuzüglich der Emissionen bei der Lagerung (Dunglege, Güllebehälter). Wird der Festmist als Rottemist (Heißmist) außerhalb des Stalles gelagert oder kompostiert, steigen die Ammoniak-

emissionen in Abhängigkeit von Lagerungstemperatur und Durchlüftung mehr oder weniger deutlich an und sind mit gasförmigen NH_3 -Stickstoffverlusten in Höhe von 10 bis 50 % des Gesamtstickstoffgehaltes mit den Verlusten bzw. Emissionen der Güllelagerung vergleichbar. Durch erhöhten Strohzusatz und damit ein höheres C:N-Verhältnis oder eine dichte Lagerung (z. B. als Stapelmist auf einer von Mauern umgebenen Mistplatte) können die gasförmigen N-Verluste beträchtlich vermindert werden (Isermann, 1994).

Die Ammoniakemissionen aus offenen Güllebehältern werden von verschiedenen Faktoren beeinflusst:

- Lagerungsdauer der Gülle;
- Verhältnis von Volumen zu Oberfläche (Luftkontakt);
- Temperatur- und Windverhältnisse;
- Ammonium- und Trockensubstanzgehalte der Gülle;
- Art der Gülle (Schwimmschichtbildung).

Flüssigmist sollte daher möglichst kurz, kühl, aber darüber hinaus unbedingt abgedeckt gelagert werden. Gülle sollte nicht gerührt oder belüftet werden, da dies die Stickstoffverluste durch Ammoniakemissionen drastisch erhöht. Statt dessen sollte Gülle — soweit von der Lagerkapazität her möglich — mit Wasser verdünnt werden. Daneben kann die pH-Wert-abhängige Ammoniakbildung (Kap. 2.4.1) durch die Ansäuerung der Gülle mit Salpetersäure verringert werden.

Bei Rinder- und Hühnergülle bilden sich aus zellulosereichen Verdauungsresten natürliche Schwimmschichten aus. Bereits die Ausbildung dieser Schwimmschicht ggf. verstärkt durch die Zugabe von Stroh (4 bis 5 kg Stroh pro m^2 Gülleoberfläche) oder Rinder- und Schweinefestmist reduziert die Ammoniakemissionen deutlich. Daneben gibt es weitere Möglichkeiten durch die Zugabe von Blähton- oder Styroporkugeln oder das Abdecken mit Hartschaumplatten, Schwimmfolien und — bei höherem Kapitalbedarf — mit Zeltdächern oder Betonplatten. Durch eine Abdeckung können die Emissionen während der Lagerung um 70 bis 90 % reduziert werden (Döhler, 1992).

Ausbringung

Die wirksamsten Sofortmaßnahmen zur Reduzierung der Ammoniakemissionen sind durch die Abdeckung der Güllebehälter sowie während und nach der Ausbringung der Gülle zu erreichen. Bei extremen Wetterlagen können nach der Ausbringung 80 bis 90 % des in der Gülle enthaltenen Ammoniaks verdampfen (Döhler, 1991 a u. b). Dabei kommt der Gülleart und der Lufttemperatur die größte Bedeutung zu. Rindergülle ist im Vergleich zur Schweinegülle relativ zähflüssig und dringt daher weniger schnell in den Bestand (bzw. die Stoppeln) oder den Boden ein. Da sich NH_3 leicht in Wasser löst, sollte Gülle (v.a. Rindergülle) ggf. mit Wasser verdünnt bei kühler,

Tabelle 4.4

**Ammoniakverluste bei verschiedenen Ausbringungstechniken von Gülle auf Grünland
(nach IMAG/NMI, 1989/1991, In: Krebbers, 1992)**

Ausbringungstechnik	Güllegabe (m ³ /ha)	NH ₃ -Verluste (in %)	Verminderung der Verluste (in %)
Breitverteilung	15	60 (20—100)	
Verregnung verdünnter Gülle (Gülle/Wasser-Verh. 1:3)	15	8— 34	44— 85
Güleeinarbeitung	40	0— 5	95—100
Narbeneinarbeitung	20	0— 5	95—100
Narbendüngung	20	2— 15	84— 91
Schleppfußsystem	10—15	13— 27	33— 77

feuchter Witterung (nach leichtem Regen), Windstille und auf feuchten Boden ausgebracht werden. (Kap. 2.4.1; Abb. 2.25).

Auf unbewachsenen Böden bzw. Stoppel/Stroh sollte die Einarbeitung parallel zur bzw. sofort nach der Ausbringung erfolgen, da die Ausgasungsverluste zu Beginn am höchsten sind. In einem Pflanzenbestand sollte die Ausbringung durch Schleppschläuche, auf Grünland durch Bodeninjektion (Güleeinarbeitung, Narbeneinarbeitung, Narbendüngung oder Schleppfußsystem) erfolgen. Die bisherigen Breitverteilungssysteme sollten wegen der sehr hohen Emissionen generell nicht mehr eingesetzt werden (Tab. 4.4).

Die Ammoniakausgasung beim Weidegang ist praktisch nicht zu beeinflussen, es sei denn durch abschließliche Stallhaltung.

Die Anwendung emissionsarmer (und zugleich tierartgerechter) Stallhaltungssysteme sowie Lagerungs- und Ausbringungstechniken für Wirtschaftsdünger sollten in bestehende Verordnungen und Gesetze (Dünge-Verordnung, Gülle-Verordnungen, Kreislaufwirtschaftsgesetz etc.) integriert und damit rechtlich verbindlich vorgeschrieben werden. Beim Genehmigungsverfahren für den Bau/Umbau von Ställen und bei Investitionsförderungen sollten die genannten Maßnahmen ebenfalls berücksichtigt bzw. gefördert werden. Durch eine Optimierung der Gewinnung, Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern lassen sich die Ammoniakemissionen (sowie die Emissionen von anderen stickstoffhaltigen Spurengasen und von Methan) bereits mit vergleichsweise geringem Aufwand um mindestens 50 % senken. Die langfristige Ausnutzung des Wirtschaftsdünger-Stickstoffs durch die Kulturpflanzen würde sich von derzeit höchstens 30 % auf etwa 60 % erhöhen. Die Ausbringung von Mineralstickstoffdüngern könnte allein hierdurch um die Hälfte reduziert werden (Isermann, 1994). Wie bereits im Zusammenhang mit der Abgabe/Steuer auf mineralische Stickstoffdünger (Kap. 4.2.2.2) bzw. mit der Bindung der Tierhaltung an die Fläche (Kap. 4.2.2.3) angesprochen wurde, wäre eine Reduzierung des überhöhten Stickstoffeintrages am ehesten durch die Kombination verschiedener Maßnahmen zu erzielen. So sollten die verschiedenen Eintragsursachen durch eine gleich-

zeitige Besteuerung/Abgabe sowohl des mineralischen Stickstoffs als auch der Importfuttermittel und der Wirtschaftsdüngerüberschüsse angegangen werden.

4.2.3.4 Herstellung und Ausbringung von stickstoffhaltigen Mineraldüngern

Die Emissionen bei der Herstellung sind sehr gering, die Anwendung trägt hingegen in Deutschland mit 10 %, weltweit mit etwa 15 % zu den anthropogenen Ammoniakemissionen bei. Zur Reduzierung dieser Emissionen ergeben sich folgende Optionen (Isermann, 1994):

- Keine Anwendung alkalisch wirkender Stickstoffdünger bzw. Ammoniumdünger (z. B. Harnstoff, Diammonphosphat, AHL, Ammoniumsulfat, Kalkstickstoff), insbesondere mit Zusatz von Nitrifikationshemmstoffen auf Böden mit
 - hohem pH-Wert (>7,0)
 - hohem Anteil an freiem Kalk
 - geringem Nährstoffbindungsvermögen (v. a. niedriger Kationenaustauschkapazität bei ton- und humusarmen Sandböden).
- Bei Anwendung alkalisch wirkender Stickstoffdünger bzw. Ammoniumdünger, insbesondere mit Zusatz von Nitrifikationshemmstoffen sollte unverzügliche Einarbeitung erfolgen.
- Bedarfsorientierte N-Düngung.

4.2.4 Maßnahmen zur Reduzierung von Kohlendioxidemissionen (CO₂)

Die Landwirtschaft ist in vielfältiger Weise mit dem Kohlenstoffkreislauf verbunden und dadurch an der Freisetzung bzw. Einbindung von Kohlendioxid beteiligt.

- Die kohlenstoffhaltige organische Substanz in den Böden stellt eine wesentliche Kohlenstoffsene dar, die u. a. durch die landwirtschaftliche Bodenbearbeitung beeinflusst wird.

- Bei der Herstellung und Verwendung aller Vorleistungen für die landwirtschaftliche Produktion, beim Bau von Maschinen, Anlagen und Stallungen und dem Einsatz von Geräten wird in der Landwirtschaft Energie verbraucht, die im allgemeinen durch die Verbrennung von fossilen Energieträgern mit entsprechender CO₂-Freisetzung bereitgestellt wird.
- Zugleich ist die Landwirtschaft aber in der Lage, nachwachsende Rohstoffe und Energieträger bereitzustellen. Durch deren Nutzung können fossile Rohstoffe und Energieträger ersetzt werden. Die Menge an Kohlendioxid, die bei der Verbrennung von pflanzlicher Biomasse freigesetzt wird, wurde vorher von den Pflanzen mit Hilfe der Sonnenenergie (Photosynthese) in die Biomasse eingebunden.

4.2.4.1 Bodenschutz und Humuswirtschaft

In Kapitel 2.3.3 wurde ausführlich dargestellt, wie die Inkulturnahme und intensive Bearbeitung von Böden zum Humusabbau führt. Beim Abbau von organischer Substanz wird Kohlenstoff (v.a. als CO₂) an die Atmosphäre abgegeben und die Stabilität des Bodengefüges verringert. Zusätzliche Bewirtschaftungs- und Bearbeitungsfehler beschleunigen die Erosion der Böden. Das Bodenmaterial wird mit den enthaltenen Nährstoffen oberflächlich abgeschwemmt oder verweht und u. a. in Oberflächengewässer eingetragen. Da der Substanzverlust der Böden die Bodenneubildung häufig übersteigt, degradieren die Böden bis keine weitere pflanzenbauliche Nutzung möglich ist.

Die Degradierung der Böden erfolgt in der Landwirtschaft auch durch

- die Versauerung durch Nährstoffeintrag und Deposition von Luftschadstoffen,
- den Eintrag von Schwermetallen und toxischen Stoffen durch Pestizide, überhöhte Düngung oder belastete Siedlungsabfälle,
- die Übernutzung bzw. Überweidung der Böden,
- die Versalzung aufgrund unsachgemäßer Bewässerung.

Ein wichtiger Aspekt des Bodenschutzes ist der dauerhafte Schutz von Dauergrünlandflächen. In der Vergangenheit kam es im Vorfeld von Stilllegungs- und Extensivierungsprogrammen häufig zu einem verstärkten Umbruch von Grünlandflächen, die anschließend unter Mitnahme der Subventionen wieder stillgelegt oder begrünt wurden. Aufgrund der wesentlich höheren Humusgehalte in Grünlandböden belastet der Umbruch den Naturhaushalt in zweierlei Hinsicht. Es kommt zu einem raschen und deutlichen Humusabbau mit entsprechender CO₂-Freisetzung. Der Boden verliert an Stabilität und Nährstoffbindungsvermögen, so daß es zusätzlich zu teilweise erheblichen Stickstoffverlagerungen (Nitrat auswaschung ins Grundwasser) kommt.

Außerhalb der Landwirtschaft drohen den Böden Gefahren durch die zunehmende Versiegelung mit

Verkehrs- und Siedlungsflächen oder durch Schadstoffe und Altlasten aus Industrie, Verkehr und Kommunen. Die steigenden Bodenbelastungen und -schäden machen den gesetzlichen Schutz der begrenzten Ressource Boden notwendig. Ein Bundes-Bodenschutzgesetz ist bereits seit Jahren in Vorbereitung. Der vorliegende Entwurf (vom 22. September 1993) hat einen Altlasten- und einen Bodenschutzteil, in denen vor allem die Sanierung vorhandener Altlasten (Dekontamination, Sicherung, Nutzungsbeschränkungen) und der Schutz vor neuen Einträgen toxischer Stoffe berücksichtigt wird. Der Entwurf bleibt weit hinter der Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung von 1985 zurück, in der die ökologischen Funktionen des Bodens vorrangiger Schutzgegenstand waren.

Das Bodenschutzgesetz soll nicht angewandt werden, solange inhaltliche Regelungen anderer Gesetze oder Verordnungen (z. B. Vorschriften des Abfallgesetzes über das Ausbringen von Abwasser, Klärschlamm, Fäkalien, Jauche, Gülle, Stallmist oder ähnlichen Stoffen und den hierzu ergangenen Rechtsverordnungen; Vorschriften des Düng- und Pflanzenschutzmittelrechts) eingehalten sind. Des weiteren steht der Schutz der Bodennutzung gleichrangig neben dem Schutz der natürlichen Funktionen des Bodens.

Mögliche Schäden durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung der Böden spielen hier nur eine untergeordnete Rolle. So muß die Landwirtschaft zur Erfüllung ihrer Pflichten lediglich „nach guter fachlicher Praxis“ wirtschaften und Bodenschädigungen „so weit wie möglich“ vermeiden, was aber auch hier nicht näher präzisiert wird. Bodenbelastungen durch Pflanzenschutzmittel, Düngemittel und organische Abfälle klammert der Entwurf aus. Andererseits sind Ausgleichszahlungen für Landwirte vorgesehen, wenn sie durch nicht von ihnen verschuldete Bodenschäden (z. B. Schwermetallbelastung) Anbaueinschränkungen hinnehmen müssen⁵⁾. Ein Finanzierungsmechanismus fehlt jedoch ebenso wie die Berücksichtigung von Summations- und Distanzschäden (z. B. durch verkehrsbedingte Emissionen).

Folgende Bodenschutzaspekte könnten zugunsten einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Böden sowie aus Gründen des Klima- und Umweltschutzes Eingang in das Bodenschutzgesetz, eine Erosionsschutzverordnung oder in die entsprechenden Ausführungsverordnungen der Länder finden (Burdick, 1994):

- Berücksichtigung diffuser Belastungen durch Einträge aus der Atmosphäre;
- Reduzierung des Schadstoffeintrags in benachbarte Ökosysteme (Böden/Grundwasser/Oberflächengewässer) durch Verringerung von Düngung und Pflanzenschutzmitteleinsatz bzw. Auflagen zur emissionsarmen Ausbringung (in Abstimmung mit entsprechenden Änderungen der/des Düngungsverordnung (ehemals Düngemittelanwendungsverordnung bzw. Gülle-Verordnungen), Wasser-

⁵⁾ Für mögliche Schäden durch die Anwendung von Klärschlämmen ist eine Entschädigungsregelung durch einen Haftungsfonds seitens der Klärschlammproduzenten im Kreislaufwirtschaftsgesetz vorgesehen.

haushaltsgesetzes, Kreislaufwirtschaftsgesetz, Abfallgesetzes etc.);

- Bewirtschaftungsauflagen zur Verbesserung der Bodenstruktur und der Wasser-/Nährstoffkapazität durch Zufuhr an organischer Substanz (Gründüngung, Stallmistdüngung, Feldfutterbau), Kalkung und Vermeidung von Bodenverdichtungen;
- Verbot der ackerbaulichen Nutzung von Hängen über 12 % Gefälle (Grünlandnutzung bzw. Verbot des Grünlandumbruchs);
- Pflicht zu ganzjähriger Bodenbedeckung, Untersaaten, Mulchsaat, Direktsaat, Minimalbodenbearbeitung, pfluglose Bodenbearbeitung, Zwischenfruchtbau, Reduzierung bzw. Verbot des Anbaus von Mais, Zuckerrüben und Hopfen sowie Einschränkung der Unkrautbekämpfung in erosionsgefährdeten Lagen, Pflicht zur Begrünung von steilen Hängen im Weinbau;
- Hanglinienparalleler Streifenanbau, Einsaat von Getreideeinzelreihen oder Getreidestreifen in erosionsgefährdeten Kulturen; Vorgeschriebene Bearbeitungsrichtung am Hang quer zum Gefälle (bis zu einer Hangneigung von höchstens 12 Prozent);
- Verkleinerung der Schläge, Anlage bzw. Erhalt von Stufenrainen und Ackerterrassen bei der Flurbereinigung;
- Bearbeitungsrichtung quer zur Hauptwindrichtung;
- Aussaat und Anpflanzung von Grasstreifen und Hecken als Windschutzstreifen alle 200 bis 300 m quer zur Hauptwindrichtung.

Durch geeignete Bewirtschaftungsmaßnahmen wird die Bodenfruchtbarkeit dauerhaft erhalten. Zugleich kann die organische Substanz bzw. der Humusgehalt der Böden deutlich erhöht und dadurch zusätzliches Kohlendioxid aus der Atmosphäre dauerhaft in Böden gebunden werden. Diese Möglichkeit ist zwar eindeutig gegeben, darf jedoch nicht überbewertet werden. Die Erhaltung und Förderung möglichst hoher Humusgehalte in den Böden ist weniger aus Klimaschutzgründen, als vielmehr wegen der zentralen Bedeutung des Humus für die Bodenfruchtbarkeit, die Bodenstabilität und das Nährstoff- und Wasserbindungsvermögen der Böden anzustreben. Maßnahmen, die auf eine reduzierte Bodenbearbeitung zielen, führen sowohl zu einer Stabilisierung des Bodenumusgehaltes als auch zu niedrigerem Treibstoffverbrauch in der Landwirtschaft.

4.2.4.2 Senkung des Energieverbrauchs in der Landwirtschaft

Die Landwirtschaft verbraucht in wachsendem Maße fossile Energieträger direkt als Treibstoffe oder zur Heizung und indirekt durch den Energieverbrauch bei der Herstellung und Bereitstellung der Betriebsmittel (Dünge- und Pflanzenschutzmittel, Futtermittelimport, Maschinen, Gebäude etc.). Beispielsweise gelangen bei der besonders energieintensiven Herstellung von mineralischen Stickstoffdüngern in der

Haber-Bosch-Synthese je Tonne Stickstoff 4 t CO₂ in die Atmosphäre. Die Landwirtschaft ist in Deutschland zu etwa 4 % am Energieverbrauch bzw. an der entsprechenden CO₂-Freisetzung aus fossilen Energieträgern beteiligt (Kap. 2.3.4). Es sind daher auch im Bereich der Landwirtschaft alle Möglichkeiten zur Einsparung fossiler Energieträger zu ergreifen. Die Verbrauchssenkung könnte erfolgen durch:

- eine Verbesserung des Wirkungsgrades (Heizung, Verkehr, Maschineneinsatz, Herstellung der Betriebsmittel) und/oder
- den Verzicht auf bestimmte Leistungen/Betriebsmittel.

Durch verschiedene nationale und EU-Strukturprogramme (z. B. Investitionsbeihilfen im Rahmen der Gemeinschaftsaufgabe) bzw. spezifische Energiesparförderprogramme (JOULE, THERMIE, SAVE) werden bereits Investitionen in den effizienteren Energieeinsatz, in die Energieeinsparung sowie in die Nutzung regenerativer Energien gefördert. Hierunter fallen beispielsweise Maßnahmen wie der Ersatz veralteter Heizungssysteme, verbesserte Wärmedämmung an Gebäuden im landwirtschaftlichen Bereich oder der Aufbau von Biogasanlagen. Diese Maßnahmen könnten verstärkt gefördert werden.

Durch eine generelle Extensivierung der landwirtschaftlichen Produktionsweise wäre vermutlich die deutlichste Reduzierung des Energieeinsatzes in der Landwirtschaft zu erreichen. Die verschiedenen Maßnahmen zur Verringerung bzw. zum Verzicht des Betriebsmitteleinsatzes und zur Reduzierung der Produktions- bzw. Bearbeitungsintensität wurden bereits ausführlich dargestellt. Im Falle einer flächendeckenden Extensivierung durch weitgehende Reduzierung des Mineraldünger- und Pflanzenschutzmitteleinsatzes und der Futtermittelimporte wäre die oben genannte CO₂-Freisetzung aus der Landwirtschaft, selbst unter der Annahme eines erhöhten Aufwandes für mechanische Pflegemaßnahmen, auch nach vorsichtiger Schätzung um mindestens ein Drittel geringer (Smukalski u. a., 1992). Legt man die Ergebnisse der aktuellen Studie von Haas und Köpke (1994) zugrunde, die im Auftrag der Enquete-Kommission erstellt wurde, so liegt der Energieverbrauch und damit die CO₂-Emissionen je Flächeneinheit bei der Bewirtschaftung nach den Regeln des ökologischen Landbaus (6,6 GJ/ha bzw. 0,54 t CO₂/ha) sogar um zwei Drittel unter dem Energieverbrauch bzw. den CO₂-Emissionen bei konventioneller Bewirtschaftung (19,4 GJ/ha bzw. 1,4 t CO₂/ha). Die Erträge des ökologischen Landbaus liegen dabei im Mittel nur um 10 bis 30 % unter denen der konventionellen Wirtschaftsweise (Kap. 2.3.4) (Haas u. Köpke, 1994).

In diesem Zusammenhang ist auch der Abbau/Umbau der Subventionierung des Treibstoffeinsatzes im Bereich der Landwirtschaft zu erwägen. Hierzu zählen vor allem die Gasölverbilligung (Subventionierung des Dieseltreibstoffs) und die Steuerbefreiung landwirtschaftlicher Nutzfahrzeuge. Durch eine Steuerbefreiung für Kraftstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen und/oder eine entsprechende Umwidmung der Gasölverbilligung könnte der Treibstoffeinsatz in der Landwirtschaft u.U. weitgehend auf nachwach-

sende Basis umgestellt werden. Im Jahr 1992 beliefen sich die nationalen Ausgaben für die Gasölverbilligung auf 877 Mio. DM und die steuerlichen Mindererinnahmen aufgrund der Kfz-Steuerbefreiung auf etwa 680 Mio. DM. Im Hinblick auf den gemeinsamen Binnenmarkt wäre auch eine Harmonisierung des Steuersatzes für Dieseldieselkraftstoff (Tab. 4.5) wünschenswert, wobei dieser zur Internalisierung der externen Kosten des Kraftstoffverbrauchs auf einem höherem Niveau liegen sollte (UBA, 1993).

Tabelle 4.5

**Einkaufspreise der Landwirtschaft
für Dieseldieselkraftstoff in den
EU-Mitgliedstaaten (UBA, 1993)**

Land	Preis in DM/Hektoliter (1991)
Belgien	37,74
Dänemark	46,42
Deutschland	53,72
Griechenland	71,04
Frankreich	66,17
Italien	48,48
Luxemburg	44,97
Niederlande	54,36
Großbritannien	52,08

Erhebliche Energiesparpotentiale ergeben sich auch durch Veränderungen in den Ernährungsgewohnheiten, insbesondere durch den Rückgang des teilweise überhöhten Fleischkonsums sowie durch die Berücksichtigung der saisonalen und regionalen Produktionsmöglichkeiten und den Verzicht auf extrem energieintensive Anbauverfahren (Gewächshausanbau) oder weite Transportwege. Der Abschlußbericht der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“, der im Spätsommer/Herbst 1994 erscheinen wird, wird in einem Kapitel zum Thema Landwirtschaft und Ernährung auf die Einsparpotentiale im Ernährungssektor näher eingehen.

4.2.4.3 Anbau nachwachsender Rohstoffe und Energieträger

Nachwachsende Rohstoffe und Energieträger können einen positiven Beitrag auf dem Weg hin zu einer nachhaltigen Wirtschaftsweise leisten. Aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellte Produkte und nachwachsende Energieträger ersetzen nicht-erneuerbare und damit nur begrenzt verfügbare fossile Rohstoffe und Energieträger. Angesichts der Überschüsse auf dem Agrarmarkt wäre es mit dem Ziel der Nachhaltigkeit weit eher zu vereinbaren, bei extensiver Bewirtschaftung nachwachsende Rohstoffe und Energieträger anzubauen als weiterhin intensiv Nahrungsmittelüberschüsse zu produzieren, die energieaufwendig gelagert werden, den Weltmarkt belasten oder am Ende gar vernichtet werden.

Rest- und Abfallstoffe, Leckagen etc. aus der Herstellung und Anwendung nachwachsender Rohstoffe und Energieträger belasten den Naturhaushalt im Allgemeinen weit weniger. Zudem gibt es positive Wirkungen (Fruchtfolgeauflockerung, Landschaftsbild, Einkommenssicherung etc.) durch die Einführung neuer Kulturarten, die als nachwachsende Rohstoffe und Energieträger dienen. Hier bieten sich der Landwirtschaft mehrere Optionen (Schoedder, In: Sauerbeck u. Brunnert, 1990):

- Anbau von Rohstoffpflanzen, deren komplexe organische Wertstoffe bisher energieaufwendig synthetisierte fossile Rohstoffe ersetzen können;
- direkte energetische Verwertung organischer Reststoffe aus der Land- und Forstwirtschaft (Verbrennung von Stroh und Abfallholz);
- energetische Verwertung organischer Reststoffe der pflanzlichen und tierischen Produktion nach Konversion (Biogas aus pflanzlichen Rest- und Abfallstoffen, Tierexkrementen und biogenen Siedlungsabfällen);
- gezielter Anbau nachwachsender Energieträger
 - zur direkten Verbrennung;
 - zur Biogassynthese;
 - zur Gewinnung von Kraftstoffen (Pflanzenöl, Ethanol, Methanol, Rapsmethylester).

Grundsätzlich unterscheidet sich der Anbau nachwachsender Rohstoffe und Energieträger nicht vom Anbau anderer landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Die Bewertung von nachwachsenden Rohstoffen erfordert aber eine differenzierte Betrachtung und Abwägung ihrer Wirtschaftlichkeit und ihres Subventionsbedarfs, der Energiebilanzen und CO₂-Minderungspotentiale und -kosten sowie weiterer Umwelt- und Klimawirkungen. Daneben sind die mittel- und längerfristigen Marktperspektiven und Flächenpotentiale von Bedeutung.

Nachwachsende Rohstoffe

Derzeit werden in Deutschland (ABL+NBL) auf etwa 210 000 ha LF nachwachsende Rohstoffe angebaut. 1990 wurden in Deutschland 440 000 t pflanzliche Öle und Fette industriell weiterverarbeitet, vor allem für die Produktion von Waschrohstoffen. Aufgrund von spezifischen Anforderungen (Länge der Fettsäureketten) und von Preisvorteilen wurden 80 bis 90 % importiert, v.a. Palmöl, Palmkernöl und Kokosöl. Die züchterische Veränderung des Fettsäuregehaltes und -musters in hiesigen Kulturpflanzen könnte in Verbindung mit der anschließenden chemischen Veränderung der Substanzen neue Marktpotentiale erschließen (Wintzer u. a., 1992).

Von besonderem Interesse ist die technische Verwendung pflanzlicher Öle für Schmierstoffe und als Hydraulikflüssigkeiten, v.a. in umweltsensiblen Bereichen (z. B. Kettensägensmierung, Treib- und Schmierstoffe für Bootsmotoren). Hierdurch könnten in Deutschland mittelfristig 80 000 bis 240 000 t Rapsöl pro Jahr abgesetzt werden. Die Verwendung fossiler

Tabelle 4.6

**Mittelfristiges Verwendungspotential und Flächenbindung für nachwachsende Rohstoffe
zur chemisch-technischen Verwendung in Deutschland (Wintzer u. a., 1992)**

	Verwendungspotential 2005 (in 1 000 t)		Flächenbindung 2005 (in 1 000 ha)
	insgesamt	inländisch angebaut	
Stärke	900—1 700	900—1 700	180—340
Pflanzliche Öle	725— 910	275— 610	190—420
— technische Verwendung	80— 240	80— 240	50—150
— Oleochemie	615— 620	165— 320	100—200
— (erucasäurereiches Öl)	(15— 20)	(15— 20)	(10)
— Leinöl	30— 50	30— 50	40— 70
Zucker	60— 100	60— 100	7— 12
Pflanzenfasern (Flachs)	85— 120	40— 60	20— 30
Arznei-/Gewürzpflanzen			10— 15
Lignocelluloseträger (zusätzlicher Bedarf)		1 000—7 000 ¹⁾	— ¹⁾
Summe Flächenbedarf ²⁾			
— bei intensiver Produktion			410—820
— bei extensiver Produktion ³⁾			480—960

¹⁾ Kann vermutlich überwiegend über die zusätzliche Nutzung von Industrierestholz und Waldrestholz gedeckt werden.

²⁾ Derzeit werden in der BRD (inkl. NBL) bereits rd. 210 000 ha LF für den Anbau von Nachwachsenden Rohstoffen genutzt.

³⁾ Ausgehend von eigenen Schätzungen wurde ein durchschnittlicher Ertragsrückgang von rd. 15 % und somit ein entsprechend höherer Flächenbedarf unterstellt.

Rohstoffe und die mit dem Abbau bzw. der thermischen Entsorgung des Altöls verbundene CO₂-Freisetzung könnten entsprechend verringert werden. Pflanzliche Öle sind zudem besser biologisch abbaubar (geringere Boden- und Gewässerbelastung bei Leckagen, Verlustschmierung etc.). Zur Erschließung dieses Substitutionspotentials sollten die Kosten- und Wettbewerbsnachteile gegenüber fossilen Mineralölprodukten durch deren finanzielle Belastung, durch die finanzielle Honorierung der Umweltvorteile nachwachsender Produkte und/oder durch entsprechende Verwendungsgebote und -verbote gefördert bzw. erreicht werden (Wintzer u. a., 1992).

Ein anderer wichtiger nachwachsender Rohstoff ist die Stärke. 1990 wurden in Deutschland 530 000 t Stärke und Folgeprodukte im chemisch-technischen Bereich eingesetzt. Der wichtigste Verwendungsbereich (350 000 t/Jahr) ist die Papier- und Pappeherstellung. Mittelfristig kann für diesen Bereich von einem Bedarf von 500 000 bis 700 000 t ausgegangen werden. Neue Absatzchancen für Stärke eröffnen sich durch die Herstellung biologisch abbaubarer Kunst- und Verpackungstoffe. Der Vorteil der biologischen Abbaubarkeit ist jedoch nur dann überzeugend, wenn eine Recyclierung oder eine thermische Nutzung bisheriger fossiler Produkte nicht oder nur unter hohem Aufwand möglich ist. Zum einen müssen die ökologischen Belastungen aus dem Anbau und der

energieintensiven Verarbeitung der nachwachsenden Rohstoffe berücksichtigt werden, zum anderen ist kompostierbare Biomasse im Überschuß vorhanden, so daß die Verwertung bereits ein Problem darstellt. Es ist daher nicht sinnvoll, Massenkunststoffe durch biologisch abbaubare zu ersetzen (Wintzer u. a., 1992). Der Einsatz sollte sich auf bestimmte Nischen beschränken, die nach dem Einsatz von Mehrwegverpackungen und der Recyclierung sortenreiner Kunststoffverpackungen noch verbleiben.

Auf den Einsatz von Holz als nachwachsenden Rohstoff geht Kap. 7.4.2 (Abschnitt C) näher ein. Das mittelfristige Verwendungspotential und die entsprechende Flächenbindung nachwachsender Rohstoffe gehen aus Tab. 4.6 hervor.

Nachwachsende Energieträger

Derzeit trägt Biomasse weltweit mit 15 bis 20 % zur Primärenergieversorgung bei. In den Industrieländern liegt der Anteil bei durchschnittlich 3 % (USA 4 %, Schweden, 9 %, Österreich 15 %), in den Entwicklungsländern bei durchschnittlich 38 % — in Einzelfällen bis über 90 %. Der Anteil in Deutschland liegt bei nur 1 %, vorwiegend aus der Müll- und Klärschlammverbrennung (IMA-NR, 1993). Eine frühere

Tabelle 4.7

Vergleich des Einsatzes von Rapsöl und Miscanthus als Energieträger (Wintzer u. a., 1992)

		Rapsöl (als Kraftstoff oder als Heizöl)		Miscanthus (Pellets in 25 MW _e -HKW-Anlage)	
		Gegenwart	2005 ¹⁾	Gegenwart	2005 ¹⁾
Energieertrag (H _u)	[MWh/ha]	10 — 14	14 — 20	65 — 120	75 — 155
Prozeßenergiebedarf	[% von H _u]	32 — 44	21 — 29	11 — 17	10 — 16
Netto CO ₂ -Entlastung	[t CO ₂ /ha]	1,7 — 2,7	3 — 4	23 — 43	29 — 49
Schwellenpreis für Heizöl ²⁾ . .	[DM/MWh]	120 — 0	85 — 145	75 — 100	54 — 78
Subventionsbedarf ^{2) 3)}	[DM/MWh]	50 — 0	25 — 75	55 — 85	10 — 40
CO ₂ -Minderungskosten ^{2) 3)} . .	[DM/t CO ₂]	350 — 450	185 — 285	150 — 240	30 — 120

Anmerkung: 1 MWh entspricht dem Heizwert (H_u) von 100 l Heizöl

1) Projektionen unter Veranschlagung technischer Fortschritte und mäßiger Energiepreiserhöhungen von 20 \$ auf 30 \$/barrel Rohöl

2) HKW-Stromerlöse sind aus Importkohlepreisen (Gegenwart: 122,— DM/t SKE; 2005: 195,— DM/t SKE) abgeleitet; entfallene EG-Marktordnungskosten wurden verrechnet (Gegenwart: 1500,— DM/ha; 2005: 1000,— DM/ha)

3) Ohne Veranschlagung von Steuern (MWSt, Energiesteuern) oder sonstigen Abgaben auf fossile Energieträger

Initiative der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ zur verstärkten thermischen Nutzung von Biomasse wurde von der Bundesregierung positiv aufgenommen.

Mögliche CO₂-Einsparpotentiale sind differenziert zu betrachten. Die Nutzung nachwachsender Energieträger führt nicht zu einem vollständig geschlossenen CO₂-Kreislauf, da bei festen Energieträgern (Stroh, Holz) 5 bis 15 %, bei flüssigen Energieträgern (z. B. Rapsöl) bereits 30 bis 50 %, bei einer aufwendigen Nachbehandlung (Ethanol, Methanol, Rapsmethylester) sogar noch höhere Anteile des Gesamtenergieertrages des Erntegutes bzw. Energieträgers als Fremdenergie in Form von Betriebsmitteln für die Produktion und Weiterverarbeitung eingesetzt werden müssen (Wintzer u. a., 1992). Dies zeigt beispielhaft der folgende Vergleich zwischen Rapsöl und Chinaschilf (Miscanthus). Wenn auch die CO₂-Bilanz im Allgemeinen positiv ist, kann dieser Vorteil je nach Anbauintensität durch die zusätzliche Freisetzung u. a. von N₂O-Emissionen als Folge der Stickstoffdüngung teilweise oder vollständig kompensiert werden.

Die Energiebilanz verschlechtert sich mit steigendem Aufwand für die Produktion bzw. den Anbau und die nachfolgende Weiterverarbeitung sowie den Transport. Dieser Aufwand ist bei der Herstellung von Ethanol aus Zuckerrüben, Methanol aus stärkehaltigen Pflanzen oder Rapsmethylester (RME) als Treibstoff besonders hoch, so daß deren Anbau, Herstellung und Verwendung weder ökonomisch noch ökologisch tragbar sind. Die notwendigerweise hohe Subventionierung des Anbaus und der Verwendung dieser nachwachsenden Energieträger erscheint daher nicht sinnvoll. Die Bereitstellungskosten liegen derzeit bei etwa 2,— DM/l RME bzw. 0,40 DM/l Diesel (vor Steuern). Selbst bei erheblicher — ökologisch bedenklicher — Erweiterung der Raps-Anbauflächen in Deutschland könnten (mit hohem logistischem

Aufwand) ohnehin höchstens ein bis wenige Prozent der fossilen Treibstoffe durch Rapsmethylester ersetzt werden. Das Treibhausgaspotential könnte bestenfalls um wenige Promille gesenkt werden. Wesentlich günstiger wäre dagegen die Weiterentwicklung und Einführung von Motoren für landwirtschaftliche Maschinen und Traktoren, die direkt unverestertes Rapsöl nutzen können. Das Rapsöl könnte in kleinen dezentralen, überbetrieblich zu nutzenden Anlagen gewonnen werden. Die Landwirte könnten „ihren Treibstoff auf dem eigenen Acker erzeugen“.

Wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll ist unter derzeitigen Rahmenbedingungen nur die direkte Verbrennung fester Energieträger, insbesondere ohnehin vorhandener Rest- und Abfallstoffe (Stroh, Schwachbzw. Abfallholz etc.). Deren vergleichsweise geringe Energiedichte erfordert jedoch eine raumintensive Vorratshaltung oder eine kontinuierliche Nachlieferung. Der Transport darf dabei nur kleinräumig erfolgen, da sich sonst die Energiebilanz drastisch verschlechtert. Die Verwertung erfolgt am sinnvollsten in kleinen bis mittleren dezentralen Blockheizkraftwerken im ländlichen Raum. Die Holzverfeuerung wird derzeit in Deutschland in mehreren Kleinanlagen (im Hausbereich bzw. in holzverarbeitenden Betrieben) sowie in acht größeren Kraftwerken mit einer Gesamtleistung von 75 MW durchgeführt. In Österreich gibt es z.Zt. 360 Anlagen im Megawatt-Bereich — in der Regel mit Hackschnitzelverfeuerung — mit einer Gesamtleistung von 1400 MW (IMA-NR, 1993). Im Bereich der Strohverfeuerung gibt es in Deutschland einige Anlagen im KW-Bereich. In Thüringen wurde 1993 eine Anlage mit 3,15 MW in Betrieb genommen. In Dänemark dagegen gibt es mehr als 50 Anlagen mit Strohverfeuerung im MW-Bereich. Ein wichtiger Grund hierfür ist der wesentlich höhere Heizölpreis in Dänemark, der seit der zweiten Ölkrise zu Beginn der achtziger Jahre auf über einer DM je Liter gehalten wurde.

Tabelle 4.8

**Vorschlag zu den Umsetzungsstrategien entweder als Brennstoffe
oder umgewandelt zu Biogas in relativ kleinen Heizkraftwerken**

Material	Potentiale in PJ				
	Nutzart	techn.	1990 genutzt	erwartet bis 2005	erwartet bis 2050
Holz-Abfälle	Verbrennung	100	1	40	60
Überschuß-Stroh	Verbrennung	100	1	20	100
Müll	Verbrennung	75	9	10	10
	Biogas		—	20	40
Gülle, Mist	Biogas	60	0,002	30	60
Grünabfälle	Biogas	15		5	10
Klärschlämme	Biogas	30	0,2	20	30
nachwachsende einjährige Pflanzen (auf 4 % Landwirtschaftsfläche)	Verbrennung und Biogas	120	—	20	120
nachwachsendes Holz (20 % jährlicher Einschlag)	Verbrennung	40	—	10	40
Gesamt		540	11	175	470

Diese Potentiale könnten genutzt werden zur Erzeugung von elektrischer Energie und Heizwärme:

	bis 2005		bis 2050	
	PJ	% heutige Bedingungen	PJ	% heutige Bedingungen
elektrische Energie ..	50	3	140	9
Heizwärme ...	100	3	260	8

Unter Abwägung der Vor- und Nachteile bzw. der verschiedenen Umweltbelastungen ist unter derzeitigen Rahmenbedingungen der Vergasung der Gülle in Biogasreaktoren der Vorzug vor der häufigen Überfüllung mit entsprechenden Auswirkungen auf Böden, Klima und Grundwassers zu geben (Kap. 4.2.1.4). Sollte es zu einer konsequenten Flächenbindung der Tierhaltung kommen, wird es keine regionalen Überschüsse an Wirtschaftsdüngern oder Gülle mehr geben. Der Erhalt der Bodenfruchtbarkeit erfordert zudem eine weitgehend verlustfreie Rückführung der Nährstoffe und der organischen Substanz in den tierischen Exkrementen und pflanzlichen Reststoffen zurück in die Böden. Die Nachlieferung organischer Substanz in die Böden muß in Zukunft sogar noch steigen, um bei höherer Temperatur und rascherer Mineralisierung die Humusgehalte in den Böden stabil halten zu können. Stroh ist zudem unabdingbar notwendig für die anzustrebende Stallmistwirtschaft und kommt ebenfalls über die Wirtschaftsdünger zurück in die Böden. Die unerwünschte Schadstoffbelastung der organischen Siedlungsabfälle (Klärschlamm, Müllkompost etc.) sollte weitestgehend vermieden werden, um deren Rückführung in die landwirtschaftlichen Stoffkreisläufe im Sinne einer regionalen Kreislaufwirtschaft zu ermöglichen (Burdick, 1994). Hierzu wäre eine möglichst lückenlose Kontrolle der organischen Substanz, die Erfassung der Schadstoffquellen sowie deren Beseitigung notwendig.

Aufgrund der angestrebten Reduzierung des Mineraldüngereinsatzes sollten Wirtschaftsdünger, aber auch Siedlungsabfälle (Klärschlamm, Müllkompost etc.) künftig besser als organische Dünger eingesetzt werden, statt sie zu verbrennen oder in Biogas umzuwandeln. Neben den logistischen Voraussetzungen (getrennte Sammlung etc.) ist hierfür eine Haftungsregelung möglich, die die Landwirtschaft vor Folgeschäden (Bewirtschaftungsauflagen, -verbote) eines Schadstoffeintrages durch Siedlungsabfälle schützt. Im Rahmen des Kreislaufwirtschaftsgesetzes wurde ein solcher Haftungsfond, getragen von den Klärschlammproduzenten, zunächst für Klärschlamm beschlossen. Zusätzlich müssen aufgrund der TA Siedlungsabfall künftig jährlich 8 bis 10 Mio. t organische Siedlungsabfälle (z. Zt. 1,2 Mio. t) kompostiert werden. Die sich daraus ergebenden etwa 4 bis 5 Mio. t Kompost wären wegen ihrer Düngewirkung am sinnvollsten in der Landwirtschaft zu verwerten. Vorbedingung wäre aber die weitgehende Vermeidung der Schadstoff- und Schwermetallbelastungen in den Siedlungsabfällen. Zusätzlich sollte analog auch ein Kompost-Haftungsfonds geschaffen werden.

Der gezielte Anbau nachwachsender Energieträger ist derzeit weder ökonomisch noch ökologisch tragfähig, vor allem dann nicht, wenn sich eine Weiterverarbeitung (Biogassynthese, Gewinnung flüssiger Kraftstoffe) anschließt. Sinnvoll ist die Anwendung

nur in bestimmten Teilbereichen, beispielsweise die Verwendung solcher Treibstoffe in umweltsensiblen Bereichen (z. B. Land- und Forstwirtschaft). Nach derzeitigem Forschungsstand ist selbst der am ehesten wirtschaftliche Anbau von Festbrennstoffen ökologisch bedenklich, da hohe Trockenmasseerträge (*Miscanthus*, schnellwachsende Baumarten) nur bei ausreichend hoher und kontinuierlicher Wasser- und Nährstoffversorgung auf guten bis sehr guten Ackerstandorten gewährleistet sind. Die Flächen würden aber bei derzeit nicht abschätzbarem Investitions- und Ertragsrisiko für 10 bis 15 Jahre gebunden (Flaig u. Mohr, 1993).

Durch das Anfang 1991 in Kraft getretene Stromspeisungsgesetz wird für Strom, der aus regenerativen Energieträgern erzeugt und in das öffentliche Netz eingespeist wird, eine erhöhte Vergütung gewährt. Diese Vergütung beträgt bei der Nutzung land- und forstwirtschaftlicher Biomasse mindestens 75 % und bei der Nutzung von Sonnenenergie und Windkraft mindestens 90 % des durchschnittlichen Stromerlöses. Der Anreiz für die Stromgewinnung aus Biomasse könnte jedoch noch verbessert werden, indem die Vergütung für Biomasseenergie mindestens auf das Niveau der Vergütung für Strom aus Sonnen- und Windenergie angehoben würde (BML u. BMU, 1993).

Die Wettbewerbsnachteile der nachwachsenden Rohstoffe und Energieträger bzw. allgemein der regenerativen Energien könnten durch die Einführung einer CO₂-/Energiesteuer ausgeglichen werden, von der — je nach Ökobilanz — auch andere regenerative Energieträger auszunehmen sind. Die Verteuerung des Verbrauchs fossiler Energieträger würde auch der Internalisierung der externen Kosten und Umweltbelastungen und damit der konsequenten Förderung einer nachhaltigen Wirtschaftsweise dienen. Durch eine entsprechende Gestaltung der politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen könnten mittel- bis langfristig deutlich höhere Anteile des Energiebedarfs allein aus der Biomassenutzung gedeckt werden.

Gemeinsam mit dem konsequenten Ausbau aller regenerativen Energien und der Energieeinsparung — auch durch einen effizienteren Einsatz in der Landwirtschaft — wäre langfristig ein vollständiger Ersatz der fossilen Energieträger möglich.

4.2.5 Rahmenbedingungen zur Gestaltung einer nachhaltigen Landbewirtschaftung

Keine der gegenwärtig in Deutschland bzw. Europa vorliegenden Gesetze und Verordnungen (bzw. Entwürfe) berücksichtigen die Anforderungen, welche sich aus der notwendigen Reduktion klimawirksamer Spurengasemissionen im Landwirtschaftsbereich ergeben. Sie verhindern allenfalls Exzesse und erlauben im Rahmen einer „ordnungsgemäßen“ und deshalb wohl „guten fachlichen Praxis“ weiterhin eine erhebliche Belastung des Naturhaushaltes (Isermann, 1994). Der Bereich der Landwirtschaft bedarf daher zur Berücksichtigung von Klima- und Umweltschutzaspekten neuer gesetzlicher Grundlagen mit internationaler Geltung (Kap. 4.1.7, letzter Absatz).

Die Land- und Forstwirte bearbeiten und gestalten mehr als 80 % der Landflächen in Deutschland. Die hierbei erbrachten positiven ökologischen Leistungen (Kap. 1.2.2), so insbesondere

- der Beitrag zur Erhaltung der heutigen Arten- und Biotopvielfalt,
- die Schutz-, Filter- und Reinigungswirkungen für Wasser, Luft und Böden sowie
- die Pflege und Erhaltung der landwirtschaftlich geprägten Kulturlandschaft⁶⁾

wurden früher als kostenlose Koppelprodukte der Bewirtschaftung erbracht. Im Zuge des massiven Strukturwandels und der wirtschaftlichen Entwicklung hat sich zunehmend eine Konkurrenzsituation zwischen der Produktion marktgängiger, entlohnter Agrarprodukte und nicht marktfähiger, ökologischer Leistungen herausgebildet. Daher ging die „kostenlose“ Bereitstellung dieser Leistungen in den letzten Jahrzehnten deutlich zurück (Bauer, 1993 b). Unter den derzeitigen agrarmarktpolitischen Rahmenbedingungen ist der zumeist intensiv geführten Landwirtschaft eine ökonomische Produktion unter Berücksichtigung ökologischer Belange kaum mehr möglich. Gleichzeitig wachsen die Probleme der Politik, die Einkommenstransfers an die Landwirte gegenüber der Gesellschaft weiterhin zu rechtfertigen. Die in der Agrarreform vereinbarten Ausgleichszahlungen werden auch aus diesem Grund in derzeitigem Umfang kaum langfristig aufrecht erhalten werden können.

Ein Lösungsweg eröffnet sich in einer extensiveren Bewirtschaftung, durch die sowohl die Umweltbelastungen und Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft als auch die Erträge und damit die Überschussproduktion gesenkt werden könnten. Bei extensiver Bewirtschaftung und gewolltermaßen sinkenden Erträgen entstehen den Landwirten entsprechende Einkommensverluste. Die Landwirte dürfen jedoch nicht — wie bisher — dafür entschädigt werden, daß sie in ihren Rechten bzw. in ihrem Ertragspotential eingeschränkt wurden, vor allem nicht, wenn dabei große Teile der Landwirtschaft weiterhin umweltbelastend produzieren. Statt dessen müssen die positiven ökologischen Leistungen umweltgerecht wirtschaftender Landwirte, die über die Produktion von Nahrungsmitteln weit hinausgehen, von der Gesellschaft anerkannt und den Landwirten angemessen vergütet werden (Burdick, 1994). Diese Vergütung kann sowohl am (Binnen-)Markt über stei-

⁶⁾ Der Erhalt der Kulturlandschaft ist in aller Regel an bestimmte Formen der Landnutzung gebunden. Daher sollte auf der gesamten Agrarfläche eine, den jeweiligen Standortgegebenheiten, den Belangen von Naturschutz und Landschaftspflege sowie dem ggf. kulturhistorisch geprägten Landschaftsbild entsprechende Bewirtschaftung aufrechterhalten oder wieder ermöglicht werden. Hierunter fallen häufig auch sehr extensive, aber gleichwohl zum Erhalt der Kulturlandschaft unabdingbar notwendige Formen der Bewirtschaftung (Streuobstwiesen, Wanderschäferei etc.). Pflegemaßnahmen zum Erhalt einer Kulturlandschaft sollten daher die Ausnahme (z. B. bei Biotopen mit gefährdeten Arten) sein bzw. nur eine Übergangslösung bis zur Wiederherstellung einer Kulturlandschaft und ihrer typischen Bewirtschaftung darstellen.

gende Preise für umweltgerecht produzierte Nahrungsmittel, als auch über direkte Transferzahlungen erfolgen. Hierzu müßten die Vergabekriterien für den Einkommensausgleich in der EG-Agrarreform entsprechend geändert werden. Die Erhaltung und Pflege der Kulturlandschaft und der natürlichen Lebensgrundlagen läßt sich langfristig nur sichern, wenn sie zu einer echten Marktleistung wird (Kiechle, 1989).

Zusätzliche Einkommensquellen können sich den Landwirten künftig durch den verstärkten Anbau nachwachsender Rohstoffe und Energieträger sowie die stoffliche Verwertung von organischen Siedlungsabfällen erschließen. Beides sollte — unter Berücksichtigung von Ökobilanzen — im Sinne einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft gefördert werden.

Ein erster möglicher Schritt in diese Richtung wäre die Kopplung des Einkommensausgleichs an ökologische Kriterien und eine umweltschonende Bewirtschaftung („cross-compliance“). Derzeit ist der Einkommensausgleich verbindlich lediglich an die ohnehin umstrittene Pflicht zur Stilllegung von Teilflächen gekoppelt, und auch erst ab einer bestimmten Betriebsgröße (Kap. 1.1.4.1). Ein zweiter möglicher Schritt wäre die Schaffung von Anreizen zum Abbau der Agrarüberschußproduktion durch die Neufassung des Finanzierungsmechanismus des EU-Agrarmarktes. Unter derzeitigen Bedingungen würde ein einseitiger Überschußabbau (z. B. durch eine nationale Vorreiterrolle) durch niedrigere Ausgleichszahlungen aus der EU-Kasse bei gleichbleibenden Zahlungspflichten bestraft statt belohnt. Ein dritter möglicher Schritt wäre die Streichung der Landwirtschaftsklauseln (§ 1, Abs. 3) im Rahmen einer Novelle des Bundesnaturschutzgesetzes, da die derzeitige „ordnungsgemäße“ Landwirtschaft keineswegs immer und überall den Zielen des Naturschutzes dient, sondern zum Teil mit erheblichen Eingriffen in Natur und Landschaft verbunden war und ist. Statt dessen wären in den Bundes- und Landesnaturschutzgesetzen verbindliche umweltorientierte Auflagen für die Landwirtschaft einzuführen.

Diese Regeln für eine umweltgerechte Landbewirtschaftung müssen eindeutig und im Sinne des Vorsorgeprinzips über die bisherigen Formulierungen zu einer „ordnungsgemäßen Landwirtschaft“ hinausgehen (SRU, 1985). Das die praxisgerechte Ausgestaltung eines solchen Regelwerkes möglich ist, zeigt der ökologische Landbau (Kap. 1.1.2), der den Ansprüchen an eine umweltgerechte und nachhaltige Landbewirtschaftung (Kap. 4.1.8) am nächsten kommt. Da der ökologische Landbau damit gleichermaßen agrarpolitischen wie umweltpolitischen Zielen dient, empfiehlt auch der Sachverständigenrat für Umweltfragen die Förderung des ökologischen Landbaus und die Vermarktung von Bio-Produkten im Rahmen der Gemeinschaftsaufgabe deutlich zu verstärken (SRU, 1994).

Die direkte Vergütung ökologischer Leistungen sollte den Landwirten flächengebunden (ggf. nach der Betriebsgröße gestaffelt) gewährt werden. Daneben ist die Vergütung langfristig an verbindliche Regeln und Auflagen für eine umweltgerechte Wirtschaftsweise zu binden, um nicht nur eine vorübergehende

Extensivierung, sondern eine dauerhafte und nachhaltige Landwirtschaft zu fördern und langfristig wirtschaftlich abzusichern. Die z. Zt. diskutierten Vorschläge und Maßnahmen beziehen sich meist nur auf bestimmte „Nischen“ und müßten — über zeitlich, räumlich und v.a. finanziell begrenzte Extensivierungsprogramme, den Vertragsnaturschutz oder Ausgleichszahlungen für Einzelprojekte im Rahmen der flankierenden Maßnahmen hinaus — eine dauerhafte rechtliche Grundlage erhalten. Die Einstellung der Gesellschaft und der Landwirte gegenüber den staatlichen Transferzahlungen im Agrarbereich könnte sich infolge dessen grundlegend ändern. Eine dauerhafte Entlohnung der Land- (und Forst-)wirte für ihre ökologischen Leistungen in einer umweltgerechten Produktion, im Naturschutz und bei der Landschaftspflege, etc. wären der angemessene Preis, den die Gesellschaft für diese Leistungen zu erbringen hat und kein Subventions-„Tropf“, der die Landwirtschaft am Leben erhält.

Die zweite Möglichkeit — die Vergütung der ökologischen Leistungen über höhere Erzeugerpreise (im Binnenmarkt) — erfordert eine Beibehaltung des derzeitigen Außenschutzes — zumindest solange, bis langfristig weltweit sozial und ökologisch orientierte Produktionsstandards verbindlich vorgeschrieben werden (Kap. 4.3). Durch den, bei flächendeckend umweltgerechter Bewirtschaftung eintretenden Rückgang der Agrarüberschüsse würde eine entsprechende Reduzierung der europäischen Agrarmarktausgaben möglich. Da somit die Steuerbelastung der Verbraucher deutlich sinken könnte, wären die höheren Preise der umweltgerecht produzierten Nahrungsmittel mindestens aufkommensneutral.

In der Vergangenheit sind die Ausgaben für Nahrungsmittel bereits deutlich gesunken. Ein Vier-Personen-Haushalt mit durchschnittlichem Einkommen gab 1989 etwa 17 % der gesamten Ausgaben für Nahrungsmittel aus, 20 Jahre zuvor waren es noch mehr als 30 % und 40 Jahre zuvor etwa 50 %.

Die flächendeckende Umstellung auf ökologischen Landbau wäre sowohl ökonomisch als auch sozial verträglich machbar. Die Ertragsrückgänge lägen bei maximal 20 %, würden somit die heutige Flächenstilllegung entbehrlich machen. Der Anteil der Nahrungsmittel an den Ausgaben der Verbraucher stiege lediglich von derzeit 12,3 % auf 14,3 % (UBA, 1994). Würden alle Landwirte flächendeckend ökologischen Landbau betreiben und für ihre Produkte nur die heutigen konventionellen Erzeugerpreise erzielen, hätte die Landwirtschaft in der Bundesrepublik jährliche Ertragseinbußen von ca. 10,2 Mrd. DM. Von den gesamten jährlichen Agrarsubventionen könnte ein Teilbetrag in gleicher Höhe umgeschichtet werden, da diese Gelder derzeit in Beihilfen für die weiterverarbeitende Industrie, Lagerhaltung, Transporte und Exportsubventionen, also in die Verwaltung der Agrarüberschüsse fließen und nicht in die direkte Einkommensstützung der Landwirte eingehen. Die eingesparten Marktordnungskosten sollten daher als direkter Einkommensausgleich an die Landwirte weitergegeben werden (Bechmann u. a., 1992). Nach Bechmann (1992) und SRU (1994) könnte somit eine flächendeckende Umstellung auf ökologischen Land-

bau in Deutschland finanzpolitisch neutral verwirklicht werden. Gleichzeitig würden Überschüsse abgebaut und externe Kosten durch Umwelt- und Gesundheitsschäden in Milliardenhöhe vermieden. Bei flächendeckender Bewirtschaftung würden ländliche Räume gefördert und zugleich die Kulturlandschaft erhalten und verbessert. Arbeitsplätze wären gesichert und Futtermittelimporte, die die Agrarstruktur der Entwicklungsländer negativ beeinflussen, könnten vermieden werden.

Hinsichtlich der Interessenkonflikte zwischen der EU und den anderen Agrarexportländern (GATT/WTO) wäre nach Weinschenck (1991) folgende pragmatische Lösung denkbar: Die EU verzichtet auf die Förderung von Agrarüberschüssen und auf Exportsubventionen, indem sie sich verpflichtet, ihre Produktion durch flächendeckende Einführung einer extensiven oder ökologischen Landwirtschaft dem Inlandsbedarf oder einem bestimmten Prozentsatz des Inlandsbedarfs anzupassen. Dafür tauscht sie das Recht ein, dem Absatz der inländischen Produktion auf dem Binnenmarkt — wie bisher — Vorrang einzuräumen. Dies schließt das Recht ein, den Außenhandelsschutz den höheren Kosten der ökologischen Landwirtschaft anzupassen.

4.3 Handlungsoptionen auf internationaler Ebene

Durch verschiedene landwirtschaftliche Aktivitäten werden in zunehmendem Maße direkt klimarelevante Spurengase (wie z. B. CO_2 , CH_4 , N_2O) sowie indirekt klimawirksame Spurenstoffe (wie z. B. NH_3 , VOC, COS) in die Atmosphäre emittiert und damit das Strahlungsgleichgewicht und das Klima der Erde nachhaltig verändert. Selbst wenn die durch die Weiterverarbeitung und den Transport landwirtschaftlicher Erzeugnisse bedingte zusätzliche Emission von Treibhausgasen nicht berücksichtigt wird, beträgt der Anteil der Landwirtschaft am globalen anthropogenen Treibhauseffekt ca. 15 %. Es ist davon auszugehen, daß der Beitrag der Landwirtschaft zum Treibhauseffekt in absehbarer Zeit in Anbetracht der wachsenden Bevölkerung und des damit verbundenen zunehmenden Bedarfs an Nahrungsmitteln weiter wachsen wird.

Unter diesen Umständen ist eine merkliche Reduktion der Emission klimarelevanter Spurenstoffe aus der Landwirtschaft unbedingt erforderlich, wenn die zukünftige Klimaänderung auf einen „tolerierbaren“ Wert von 1 bis 2°C relativ zu den heutigen Verhältnissen beschränkt werden soll. Dies betrifft insbesondere die Landwirtschaft in den Industrieländern, in denen die Emission von klimarelevanten Spurenstoffen aus der Landwirtschaft u. a. durch den intensiven Einsatz von mineralischen Düngern sowie durch die Massentierhaltung überproportional groß ist. Diese Emissionen lassen sich in den Industrieländern durch eine Senkung der landwirtschaftlichen Produktionsintensität und eine standort- und bedarfsgerechte Produktion deutlich reduzieren.

Zur Eigenversorgung der Entwicklungsländer ist eine weitere Steigerung der dortigen landwirtschaftlichen Produktion erforderlich, die zwangsläufig mit einem

Anstieg der Emissionen verbunden sein wird. Um aber das Ziel der globalen Senkung der landwirtschaftlichen Spurengasemissionen zu erreichen, müssen daher zuvor die Industrieländer ihre landwirtschaftliche Produktionsintensität senken, um den Entwicklungsländern einen Spielraum für eine global klimaverträgliche Entwicklung zu eröffnen. Dies gilt sowohl für den Bereich der Landwirtschaft als auch analog für den Energie- und Verkehrsbereich.

In den Entwicklungsländern werden die Emissionen klimarelevanter Spurenstoffe insbesondere durch die Landnutzungsänderungen, durch die Verbrennung von Biomasse sowie durch die Zunahme der Anbaufläche von Naßreis verursacht. Die mit der Landnutzungsänderung in engem Zusammenhang stehende Rodung der Tropenwälder geht in der Regel auf die Armut der dort lebenden Bevölkerung sowie auf die national und/oder international verursachte generelle Verschuldung der Entwicklungsländer und die z.Zt. herrschenden weltwirtschaftlichen Rahmenbedingungen zurück. Die Zunahme der Bevölkerung in diesen Ländern, in Verbindung mit den Fehlentwicklungen auf den internationalen Agarmärkten, hat zum Entstehen bzw. zur Verschärfung der Nahrungsmittelknappheit und weiterhin wegen der nicht standortgerechten Bewirtschaftungsformen auch zu weiträumiger Degradation der Böden und Gewässer sowie zur Zerstörung von Lebensräumen wildlebender Tier- und Pflanzenarten geführt.

Es ist deshalb notwendig, an den globalen ökonomischen und politischen Rahmenbedingungen anzusetzen, wenn grundlegende Verbesserungen der derzeitigen Situation erzielt werden sollen. Dieses ist inzwischen auch von den Industrieländern erkannt worden, die bisher weitgehend diese Rahmenbedingungen bestimmt haben und die jetzt die Entwicklungsländer zu einem eigenverantwortlichen Handeln, u. a. zur Entwicklung und Gestaltung einer nachhaltigen Wirtschaftsweise sowie zur Einführung einer langfristig tragfähigen, standortgerechten und weitgehend auf Selbstversorgung ausgerichteten Landbewirtschaftung und damit zur Erhaltung der tropischen Wälder und zur Schonung der natürlichen Ressourcen, drängen.

Unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit ist es insbesondere notwendig, die Ausweitung der landwirtschaftlichen Nutzflächen in den Entwicklungsländern zu verringern. Möglich wird dies durch

- die Beeinflussung der Konkurrenz um knappe Flächen zugunsten der Nahrungsmittelproduktion, indem der Exportzwang durch Entschuldung (Abschnitt C, Kap. 7.5.1.3) vermindert wird, der Zugang zu den Märkten für Veredelungsprodukte verbessert wird und Bodenbesitzreformen auf nationaler Ebene durchgeführt werden;
- die Verringerung des Bevölkerungswachstums;
- den Erhalt der bereits genutzten Flächen, indem die Desertifikation und Degradation durch Bodenschutzmaßnahmen eingedämmt werden und ressourcenschonende, nachhaltige Bewirtschaftungssysteme (Agroforstwirtschaft, umweltgerechter Landbau etc.) eingeführt bzw. ausgeweitet werden;

- verbesserte und standortgerechte Anbaumethoden (Auswahl und Züchtung angepaßter Sorten, Düngewirtschaft etc.), die die landwirtschaftliche Produktivität erhöhen.

Vor dem Hintergrund, daß vor allem die Landwirtschaft in den Tropen und Subtropen von der Klimaänderung betroffen sein wird, verstärkt sich der Handlungsdruck noch erheblich. Die Schere zwischen Nahrungsmittelproduktion und Bevölkerungsentwicklung droht ansonsten immer weiter auseinanderzuklaffen.

4.3.1 Veränderungen der politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen des Welthandels und der wirtschaftlichen Zusammenarbeit

Eine umweltverträgliche Neuordnung der Weltwirtschaft verlangt zunächst vor allem den ökologischen Umbau in den Industrieländern durch

- eine deutliche Verringerung des Ressourcenverbrauchs in Produktion und Konsum und eine Internalisierung der externen Kosten in die Energiepreise,
- die Reduktion der landwirtschaftlichen Spurengasemissionen durch Hinführung der Produktionsintensität auf standortgerechten Anbau und durch Anpassung an den Bedarf,
- die Erstellung und Umsetzung ökologischer Kriterien für die gesamte Wirtschafts- und Technikentwicklung,
- den Transfer umweltgerechter Technologien und Verfahren in die Entwicklungsländer.

4.3.1.1 Welthandel

Die internationalen Handelsvereinbarungen des GATT (Allgemeines Zoll- und Handelsabkommen) bzw. WTO (World Trade Organisation) bilden den Rahmen für die künftige Gestaltung des Welthandels, der Weltwirtschaft und damit auch der Weltlandwirtschaft. Der Abschluß der Uruguay-Runde im Dezember 1993 war in Anbetracht wachsender Überschüsse und sich international zuspitzender Handelskonflikte nur durch eine Reform der EG-Agrarpolitik möglich. Dieser GATT-Abschluß enthält folgende Auflagen für die europäische Landwirtschaft (BML, 1994 a):

- Die handelsverzerrende Agrarunterstützung der EU muß bis 2001 pauschal um 20 % abgebaut werden. Die mit der Agrarreform verbundenen Mengenrückführungen und Preissenkungen werden dabei angerechnet. Unberührt davon bleiben die direkten Einkommensbeihilfen.
- Alle Einfuhrabgaben und nichttarifären Handelshemmnisse, so auch die variablen Einfuhrabschöpfungen der EU, werden auf feste Zölle umgestellt und diese ebenso wie die bestehenden Zölle schrittweise bis 2001 um durchschnittlich 36 % abgebaut; das Einfuhrpreisniveau von Marktordnungsprodukten wird dennoch über den Preisen bleiben, die mit der Agrarreform festgelegt wurden.

- Die subventionierten Agrarexporte der EU müssen bis 2001 mengenmäßig um 21 % gegenüber dem Durchschnitt der Jahre 1986 bis 1990 abgebaut werden. Die Haushaltsausgaben für Exportsubventionen sollen innerhalb der nächsten sechs Jahre um 36 % auf der Basis von 1986 bis 1990 verringert werden.

- Die EU gewährt Nicht-EU-Ländern einen Marktzugang von mindestens 5 % bis 2001.

Mit diesen Ergebnissen wird der freie internationale Handel mit Agrarprodukten gefördert, da sowohl die subventionierten Agrarexporte verringert als auch der europäische Markt stärker für außereuropäische Agrarprodukte geöffnet wird. Gleichzeitig wird die mit der europäischen Agrarreform erfolgte Umschichtung der Agrarsubventionen von einer Preis- auf eine direkte Einkommenstützung handelspolitisch abgesichert. Die internationalen Wettbewerbsverzerrungen zu Lasten vor allem der agrarexportierenden Entwicklungsländer bleiben jedoch weitgehend bestehen. Die angebliche Wettbewerbsneutralität der produktionsbezogenen Ausgleichszahlungen, die sich die USA und die EU im GATT-Kompromiß gegenseitig zu Lasten anderer Länder zugestanden haben, ist daher in Frage zu stellen (Ganzert, 1994). Außerdem zeigt das aktuelle Beispiel der EU-Bananenmarktordnung, wie trotz des GATT-Beschlusses neue Handelshemmnisse gegenüber agrarexportierenden Entwicklungsländern eingeführt werden, um die Eigenproduktion einiger AKP-Staaten zu bevorzugen.

Ganzert (1994) bewertet: „Das Ziel einer nachhaltigen, umweltgerechten und damit auch klimaverträglichen Landbewirtschaftung wurde beim GATT-Kompromiß ebenso vernachlässigt wie in der EG-Agrarreform. Die Chance, die Überschuß- und Umweltprobleme durch die Internalisierung der externen Kosten gemeinsam zu lösen, wurde nicht genutzt. Auch die Möglichkeit, die Futtermittelimporte aus umweltpolitischen Gründen zu begrenzen, wurde vertan“. Neuere Entwicklungen zeigen jedoch, daß sich künftig auch GATT/WTO und EU stärker um die Integration von Umweltschutzziele in ihre Vereinbarungen und Politiken bemühen.

Die Preise für umweltschonend und somit auch klimaverträglich hergestellte Nahrungsmittel werden auf den Märkten durch Nahrungsmittel unterboten, die unter Inkaufnahme von Umweltbelastungen erzeugt wurden. Der Anteil der europäischen Agrarproduktion an diesem „Umweltdumping“ könnte durch eine umweltgerechtere Gestaltung der europäischen Landwirtschaft und den Abbau einseitiger Exportsubventionen für Agrarprodukte verringert werden. Daher sollte zunächst der direkte Einkommensausgleich an Umweltkriterien und Auflagen für eine umweltschonende und nachhaltige Bewirtschaftung gekoppelt werden (Kap. 4.2.5).

Zur notwendigen Unterstützung der europäischen Landwirtschaft sind direkte finanzielle Förderungen und/oder die Beibehaltung eines Außenschutzes vonnöten. Die höheren Kosten für die Einführung und Erhaltung einer nachhaltigen und umweltgerechten Landbewirtschaftung müssen in Anbetracht der vermiedenen Umweltschäden und externen Kosten als

schutzbedürftiger Tatbestand berücksichtigt werden und die Beibehaltung eines Außenschutzes erlauben.

Darüber hinaus ist die gezielte Förderung der europäischen Landwirte durch die Einführung von nicht-produktionsgebundenen Vergütungen für ökologische und landschaftspflegerische Leistungen möglich. Dies wurde bereits im Rahmen der Uruguay-Runde diskutiert, ist jedoch nicht weiterverfolgt worden. Diese Vergütungen können der sogenannten „Green Box“, also den nicht abzubauenen produktionsneutralen Zahlungen zugerechnet werden und gelten als GATT-konform, solange sie keine Auswirkungen auf die Ausfuhr der Waren (z. B. durch Exportsubventionen) haben oder die Einfuhr gleichartiger Waren nicht behindern (UBA, 1993; BML und BMU, 1993). Offen bleibt hier jedoch die Frage, was unter gleichartigen Gütern zu verstehen ist. Gleiche Produkte sind nach Definition des GATT lediglich solche mit gleichen Eigenschaften. Unter welchen ökologischen Bedingungen die Güter produziert wurden, bleibt dabei jedoch unberücksichtigt.

Konsequenterweise, so eine weitere Anregung, sollte daher in einem weiteren Schritt die Einführung von international geltenden Umwelt- und Sozialstandards in das Welthandelsabkommen angestrebt werden, um weltweit gleiche Bedingungen für eine nachhaltige und umweltgerechte Landbewirtschaftung (Kap. 4.1.8) zu definieren. Angesichts des unterschiedlich ausgeprägten Umweltbewußtseins dürfte dies ein schwierig zu lösendes Problem sein, das aber dennoch nicht dazu führen darf, daß man sich international im Hinblick auf die Wettbewerbsfähigkeit und zugunsten kurzfristiger wirtschaftlicher Interessen auf dem jeweils niedrigsten Niveau des Umweltbewußtseins einigt (Ganzert, 1994). Weltweit einheitliche Umweltstandards für die Agrarproduktion könnten zudem einen nationalen oder EU-weiten Außenschutz entbehrlich machen. Die Bundesregierung sollte sich daher gemeinsam mit der internationalen Staatengemeinschaft für die Integration ökologischer Mindeststandards im Rahmen des Welthandelsabkommens (WTO) einsetzen.

Des weiteren sind die handelspolitischen Restriktionen und Benachteiligungen der Entwicklungsländer weiter abzubauen. Um den Flächenanspruch der exportorientierten Agrarproduktion vieler Entwicklungsländer zu verringern, muß den Entwicklungsländern durch den Abbau von Handelshemmnissen der Zugang zu den Märkten für weiterverarbeitete Produkte erleichtert werden. Es sollte in der EU bzw. den Industrieländern vermieden werden, daß weiterverarbeitete Produkte aus tropischen Agrarerzeugnissen (Konserven, löslicher Kaffee etc.) mit hohen Importzöllen belegt werden, um die einheimische Verarbeitungsindustrie zu schützen, während hingegen unverarbeitete Rohstoffe und Agrarprodukte zu niedrigen Preisen aus den Entwicklungsländern importiert werden. Die Förderung höherwertiger Exporte würde die einseitige Ausrichtung der Entwicklungsländer auf geringerwertige Agrar- und Rohstoffexporte verringern. Den wirtschaftlich schwachen Ländern und Regionen sollte außerdem das Recht auf einseitige Schutzmaßnahmen bis zur Verwirklichung einer

selbsttragenden Entwicklung eingeräumt werden. Die Bemühungen zur Bildung größerer Wirtschaftszo-
nen in Afrika, Asien und Lateinamerika zur Stärkung der eigenen Wirtschaftskraft und zur gemeinsamen nachhaltigen Nutzung und Schonung von Ressourcen sind zu fördern. Gleichzeitig ist der Exportzwang der Entwicklungsländer auch durch eine weitergehende Entschuldung zu vermindern (Abschnitt C, Kap. 7.5.1.3).

Gerade die subventionierten Agrarexporte Europas und Nordamerikas haben zu dem Verfall der Weltmarktpreise und damit zur Unterbewertung vieler Agrarprodukte beigetragen. Dies schädigt direkt die Agrarstrukturen und Produzenten in den Entwicklungsländern. So führen beispielsweise subventionierte Rindfleischexporte der EU in einigen westafrikanischen Ländern zu einem Preisverfall auf den lokalen Märkten, zu einer Verdrängung lokaler Produzenten und zu einem sinkenden Selbstversorgungsgrad (Deutscher Bundestag, 1994 a). Vergleichbare Probleme ergeben sich aus den subventionierten Getreideexporten und dem Verfall der Weltmarktpreise für Getreide. Der Abbau der Überschüsse und Exportsubventionen in den Industrieländern könnte dazu beitragen, daß weniger verbilligte Nahrungsmittel den Weltmarkt überschwemmen. Eine eigenständige Ernährungssicherung der Entwicklungsländer würde gefördert und internationale Handelskonflikte mit anderen agrarexportierenden Ländern vermieden.

Eine Verringerung der Futtermittelimporte aus Entwicklungsländern könnte deren Bemühungen unterstützen, vorrangig Nahrungsmittel für die Eigenversorgung und erst sekundär für den internationalen Agrarhandel zu produzieren. Eine Verbesserung der Eigenversorgung vermindert zugleich den Druck auf die Tropenwälder. Die — auch durch niedrige Energiekosten subventionierten — Futtermittelimporte sind ein dauerhafter Störfaktor der Nährstoffbilanzen. Jährlich gelangen durch Futtermittelimporte 500 000 t Stickstoff und 190 000 t Phosphat in die Nährstoffkreisläufe der alten Bundesländer. Eine auf Nachhaltigkeit ausgerichtete Marktpolitik der kurzen Wege und weitgehend geschlossener Kreisläufe muß auch bei den Agrarprodukten ansetzen. Dieser Aspekt muß künftig in der WTO berücksichtigt werden (Deutscher Bauernverband, 1994).

4.3.1.2 Wirtschaftliche Zusammenarbeit

1990 entfielen lediglich 14 % der Gesamtausgaben der weltweiten Entwicklungshilfe auf den Agrarsektor. In der Bundesrepublik sind die Mittel für die technische Zusammenarbeit im Bereich der ländlichen Entwicklung von 1988 von 677,5 Mio. DM bis 1991 auf 540,6 Mio. DM zurückgegangen, der Anteil des Agrarsektors hieran sank von 293,6 Mio. DM (1988) auf 212,2 Mio. DM (1991). Insgesamt sind die finanziellen Aufwendungen für die Förderbereiche Land- und Forstwirtschaft sowie ländliche Entwicklung seit 1989 um etwa 40 % gesunken (Deutscher Bundestag, 1993 c).

Der Entwicklungshilfe-Etat ist seit 1982/83 rückläufig. Der damalige Höchststand lag bei 0,48 % des Brutto-

sozialproduktes und sank bis 1992 auf 0,39 % bzw. 1993 0,34 % (Germanwatch, 1993). Wie von der Bundesregierung bereits anlässlich der UNCED in Rio bekräftigt, enthält auch die Agenda 21 die Forderung an die Industrienationen, bis zum Jahr 2000 0,7 % ihres Bruttosozialproduktes für die Entwicklungshilfe bereitzustellen.

Durch eine intensivere wirtschaftliche Zusammenarbeit und Hilfe sollte die eigenständige wirtschaftliche Entwicklung der Entwicklungsländer gefördert werden. Hierzu könnten die Industrieländer beitragen durch:

- eine Erhöhung der staatlichen Mittel aller Industrieländer für die finanzielle und technische Zusammenarbeit auf 0,7 % des Bruttosozialproduktes;
- einen Finanz- und Technologietransfer zu — für die Entwicklungsländer — günstigen Bedingungen;
- einen Schuldenerlaß für Umweltschutzmaßnahmen und Bodenreformen in den Entwicklungsländern („Debt-for Nature-Swaps“).

Große Bedeutung in der Entwicklungszusammenarbeit kommt neben der bilateralen Entwicklungshilfe auch den multilateralen Finanzierungsinstitutionen (Weltbank, Internationaler Währungsfonds (IMF), Entwicklungsbanken sowie der GEF (Globale Umweltfazilität)) zu. Deren bisherige Aktivitäten haben die Zunahme der Armut, der Umweltzerstörung und der Unterversorgung in den Entwicklungsländern jedoch nicht verhindern können. Für große Teile der Bevölkerung Lateinamerikas sank der Lebensstandard (Pro-Kopf-Einkommen) seit Beginn der achtziger Jahre um 15 %, für Teile der afrikanischen Bevölkerung südlich der Sahara sogar um 25 %. Die Struktur Anpassungsprogramme von IMF und Weltbank haben durch die Förderung von Großprojekten zur Rohstoffförderung oder die einseitige Förderung einer exportorientierten Landwirtschaft die Probleme bislang eher verschärft und zur Zerstörung der Umwelt und der Tropenwälder beigetragen. Die Interessen von IMF und Weltbank orientieren sich bislang vorwiegend an einer Exportsteigerung und der Verbesserung der kurzfristigen Zahlungsfähigkeit der Entwicklungsländer sowie eigenen Rentabilitätszielen (EK, 1990 a).

Künftig sollten diese Institutionen eine ökologisch verantwortbare, dauerhafte Entwicklung zum Maßstab ihrer Geschäftspolitik machen. Hierzu gehört vor allem eine Änderung der Kriterien für die Vergabe der Finanzmittel für Entwicklungsprojekte. Unabdingbare Voraussetzung für die Projektförderung ist die Durchführung von Umweltverträglichkeitsprüfungen, die dem Vorsorgeprinzip gerecht werden. Darüber hinaus sind eine Prüfung der Sozialverträglichkeit einzuführen und die regionale Bevölkerung und Nichtregierungsorganisationen in Planungs-, Durchführungs- und Evakuierungsprozesse einzubinden. Die Finanzierung und Förderung bereits laufender Projekte, die diese Kriterien nicht erfüllen, sollte schnellstmöglich beendet werden, um die Mittel für neue umwelt- und sozialverträgliche Projekte einsetzen zu können.

Die Globale Umweltfazilität (GEF) dient vor allem als Finanzierungsinstrument für die in Rio unterzeichneten Konventionen (Klimarahmenkonvention, Konvention über die Biologische Vielfalt) sowie für die Umsetzung der Agenda 21 (Kap. 4.1.7). Mit Hilfe der GEF sollen die Industrieländer an den zusätzlichen Kosten für den Umweltschutz in den Entwicklungsländern beteiligt werden. Zwischen 1991 und 1994 verfügte die GEF über etwa 1,13 Mrd. US-\$. Die Mittel werden von der Weltbank in Zusammenarbeit mit dem Entwicklungs- und Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNDP und UNEP) verwaltet (Abschnitt C, Kap. 7.5.1.4). Bereits 1992 sprach sich die Bundesregierung in Rio dafür aus, das Volumen der GEF um 3 Mrd. Sonderziehungsrechte (4,2 Mrd. US-\$ bzw. 6,7 Mrd. DM) aufzustocken und sich hieran mit 780 Mio. DM zu beteiligen. Im März 1994 wurde jedoch lediglich eine Aufstockung auf 2 Mrd. US-\$ für den Zeitraum 1994 bis 1997 beschlossen.

Die GEF-Mittel wurden bisher vorwiegend für den Erhalt der Artenvielfalt, für den Klimaschutz und für den Gewässerschutz eingesetzt. Die erhebliche Ausweitung der Aufgaben der GEF bei der Umsetzung der Konventionen von Rio, der Agenda 21 und weiterer geplanter Konventionen (Waldkonvention, Wüstenkonvention) machen jedoch eine erhebliche — hilfsweise auch schrittweise — Aufstockung der Mittel des GEF notwendig, um eine weltweit nachhaltige Entwicklung einzuleiten und umzusetzen. Zur Sicherung der Ernährung und zum Schutz des Klimas und der Tropenwälder ist eine weltweit nachhaltige Landbewirtschaftung notwendig. Dies stellt auch eine zentrale Forderung der Agenda 21 dar (Kap. 4.1.7). Daher sollte sich die Bundesregierung auf internationaler Ebene für eine weitere Aufstockung der GEF-Mittel auf mindestens 5 Mrd. US-\$ und ein stärkere Förderung nachhaltiger Landbewirtschaftungssysteme einsetzen (Abschnitt C, Kap. 7.5.2.1).

4.3.2 Verringerung des Bevölkerungswachstums

Die künftige Entwicklung der landwirtschaftlichen Flächennutzung in den verschiedenen Regionen der Welt hängt wesentlich von der Bevölkerungsentwicklung und der damit verbundenen Entwicklung des Nahrungsmittelbedarfs ab (Kap. 3.3.2). 1992 lebten 5,420 Mrd. Menschen auf der Erde, 1,2 Mrd. in den Industrieländern und 4,2 Mrd. in den Entwicklungsländern. Bis zum Jahr 2025 wird die Weltbevölkerung auf $8,5 \pm 0,9$ Mrd. Menschen anwachsen. In jedem Jahr wächst die Weltbevölkerung derzeit um etwa 95 Mio. Menschen. Über 80 % dieses Wachstums findet in Afrika, Asien und Lateinamerika statt. Aufgrund der Altersstruktur in den Entwicklungsländern wird das Wachstum nur sehr langsam reduziert werden können. Durch die große Zahl junger Menschen und Kinder ist bereits ein weiteres Bevölkerungswachstum für die nächsten Jahrzehnte vorprogrammiert, selbst wenn es gelänge, die Geburtenrate langsam und allmählich zu senken (Schmid, 1993).

Um eine Senkung der Geburtenrate zu erreichen, ist eine Intensivierung der Bevölkerungspolitik anzustreben. Maßnahmen der Bevölkerungspolitik sind (Schmid, 1993):

- die Verbesserung der Bildung und Ausbildung, insbesondere für Frauen;
- die Verbesserung der allgemeinen Stellung der Frauen in der Gesellschaft;
- die Verbreitung und Förderung von Methoden der Familienplanung (z. B. Beratung zur Empfängnisverhütung);
- die Verbesserung der staatliche Alterssicherung;
- die Senkung der „Vorsorgegeburten“ durch eine Senkung der Kindersterblichkeit;
- die Anhebung des Lebensstandards.

Die Ausgaben für Bevölkerungspolitik sind derzeit vergleichsweise bescheiden. Die zuständige UN-Behörde (UNFPA) hatte 1990 einen Etat von 212 Mio. US-Dollar. Die Bundesregierung sollte sich auf internationaler Ebene für eine Aufstockung dieser Mittel einsetzen.

4.3.3 Technische Entwicklungszusammenarbeit

Angesichts fortschreitender Zerstörung der natürlichen Ressourcen und der Degradation der Böden gilt es, die einseitige Ausrichtung der Landwirtschaft auf Ertragssteigerung und Ausbeutung der Naturressourcen weltweit zu beenden. An die Stelle der Anpassung der Landnutzung an die (welt-)wirtschaftlichen Rahmenbedingungen muß eine Orientierung an den jeweiligen standörtlichen Gegebenheiten erfolgen. Die unterschiedlichen klimatischen und (land-)wirtschaftlichen Voraussetzungen in den Industrieländern des Nordens und den Entwicklungsländern des Südens verlangen dabei unterschiedliche Entwicklungsansätze. Der Erhalt der Bodenfruchtbarkeit und der Ressourcen muß dabei gemeinsam mit der regionalen Ernährungs- und Agrarrohstoffsicherung das übergeordnete, vorrangige Ziel bleiben bzw. werden (Burdick, 1994).

Das Bevölkerungswachstum macht in vielen Regionen eine Steigerung der Produktivität notwendig, die jedoch so bemessen sein muß, das sie dem Ziel einer nachhaltigen, umweltgerechten Bewirtschaftung nicht entgegen steht. Auf keinen Fall dürfen sich die Fehler der „Grünen Revolution“ wiederholen. Die für eine maßvolle Intensivierung notwendigen Rahmenbedingungen müssen geschaffen werden, indem über Landreformen der Zugang zu Anbauflächen sichergestellt und endogene Ressourcen (traditionelles Wissen, Arbeitskräfte) genutzt werden. Die Maßnahmen zur Produktionssteigerung müssen gleichberechtigt folgende Aspekte berücksichtigen (Egger u. Rudolph, 1992):

- ökologische Erfordernisse der Vielfalt, der nachhaltigen Sicherung und der produktiven, ökologischen Vernetzung,
- Standortgerechtigkeit,
- bessere Flächennutzung mit lokal verfügbaren Mitteln („low external input“).

Aus diesen Anforderungen heraus wurde aus einer Synthese traditioneller Anbausysteme und moderner Agrarökologie ein System entwickelt, daß als Agroforstwirtschaft bezeichnet wird. Diese Form eines angepaßten standortgerechten Landnutzungssystems erscheint zusammen mit der sehr dosierten Erhöhung des Inputs in den meisten Entwicklungsländern unter den entsprechenden Standortbedingungen als die einzige Möglichkeit zur dauerhaften Sicherung oder sogar Steigerung der Erträge. Hier müssen daher die Hauptansatzpunkte einer ökologisch und sozial verträglichen Entwicklungshilfe liegen.

4.3.3.1 Agroforstwirtschaft

Das Hauptmerkmal ist die Integration von Bäumen in die Feldkultur. Pro Hektar können bis zu 300 Bäume angepflanzt werden. Gemeinsam mit den Bäumen werden Hecken und Feldfrüchte angebaut. Bei den Bäumen und Sträuchern handelt es sich meist um schnellwachsende Tiefwurzler, die möglichst symbiotische Stickstofffixierung betreiben, gleichzeitig bodenverbesserndes Laub und Astholz für Brennzwecke sowie Stammholz für Bauzwecke liefern. Im hängigen Gelände werden die Bäume gemeinsam mit Hecken entlang der hangparallelen Kanten der Terrassen gepflanzt und dienen hier gleichzeitig als Erosionsschutz. Die Bäume werden maximal 9 bis 12 Jahre alt, so daß jährlich 20 bis 30 Bäume (je Hektar) eingeschlagen werden können. Bei entsprechender Neuanpflanzung ist eine gleichmäßige ökologische Wirkung des Baumbestandes gewährleistet. Die Feldkulturen im Mischanbau werden regelmäßig durch Gründüngung und organische Ernteabfälle (Mulch, Kompost) ergänzt. Ziegen, Schafe und/oder Rinder werden im Stall gehalten und mit dem Schnitt der Hecken gefüttert. Der Stallmist liefert zusätzlichen Dünger für die Feldkulturen. Auf organischer Basis werden damit gleichzeitig die Bodengesundheit, Humusanreicherung und Stickstoffversorgung gewährleistet.

Das System ist der natürlichen Vegetationsform des jeweiligen Standortes „nachgebaut“. Die stufenförmige Stockwerkarchitektur aus bodenbedeckender Krautzone, Sträuchern, kleineren und schließlich größeren Bäumen verbindet eine möglichst hohe Arten- und Biotopvielfalt mit einer weitestgehenden Annäherung an die geschlossenen Kreisläufe und ökologischen Rückkopplungsmechanismen des natürlichen Systems. Im agroforstwirtschaftlichen System sind zudem alle Komponenten für den Menschen nutzbar:

- Krautzone (Buschbohnen, Erdnüsse, Süßkartoffeln),
- Strauchzone (Maniok, Sorghum, Mais, Gründüngungssträucher und Leguminosen, Tierfutter),
- Niedrige Baumschicht (Bananen, Papaya, Jungbäume),
- Große Baumschicht (Schatten, Erosionsschutz, Brenn- und Bauholz).

Diese vertikale Schichtung ermöglicht einen sehr hohen Flächennutzungsgrad und eine erhebliche Steigerung der Erträge. Durch eine flächendeckende Einführung könnten Agroforstwirtschaftssysteme

selbst in dichtbesiedelten Regionen Afrikas den gesamten Grundnahrungsmittelbedarf decken. Der weitgehende Rückfluß pflanzlicher Nährstoffe durch Laubfall, die Kohlendioxidfestlegung durch die Bäume und die hohe Vegetationsdichte, geringer Schädlingsbefall durch Mischkulturen, Brennholzversorgung und Viehhaltung, welche die Wald- und Weideressourcen schützen und erhalten, sind die bewußt herbeigeführten Nebeneffekte der Agroforstsysteme (Egger u. Rudolph, 1992). Die weiter auszubauende Förderung der technischen Zusammenarbeit im Agrarbereich sollte sich daher an diesem Leitbild orientieren.

4.3.3.2 Methan-Reduktion im Reisanbau

Bereits heute ist der Naßreisanbau für etwa ein Viertel der anthropogenen Methanemissionen verantwortlich. Durch das anhaltende Bevölkerungswachstum werden in Zukunft die Anbauflächen für Reis ausgedehnt bzw. die bestehenden Flächen für mehrere Ernten genutzt werden müssen („multiple cropping“), um die Erträge weiter steigern zu können. Ein wichtiger Aspekt der technischen Entwicklungszusammenarbeit muß daher die Reduzierung der Methanemissionen aus dem Naßreisanbau sein. Aus Gründen der Sozialverträglichkeit müssen alle Maßnahmen unter den jeweiligen lokalen Bedingungen realisierbar sein, ohne die Ertragssicherheit zu gefährden.

Auf diesem Gebiet sind durch deutsche Institute bereits intensive Forschungsarbeiten in Kooperation mit verschiedenen Entwicklungs- und Schwellenländern (u. a. in China, Thailand, Philippinen) durchgeführt worden. Diese Aktivitäten werden in den kommenden Jahren im Rahmen des BMFT-Klimaforschungsprogramms fortgesetzt und haben zum Ziel, die Produktions- und Abbaumechanismen von Methan in den Sedimenten der Naßreisfelder in Abhängigkeit von den allgemein angewandten landwirtschaftlichen Praktiken quantitativ zu erfassen und daraus realistische, in die Praxis umsetzbare Maßnahmen zur Reduzierung der CH_4 -Emissionen aus dem Naßreisanbau abzuleiten.

Aufgrund der bisher erzielten Ergebnisse (Wassmann u. a., 1993; In: Heyer, 1994) ergeben sich folgende Möglichkeiten:

- Auswahl und Züchtung von Reispflanzen mit geringerer Methan-Emission, wobei eine ausreichende Arten- bzw. Sortenvielfalt erhalten bleiben muß;
- Verbessertes Wassermanagement;
 - Förderung des oxidativen Methanabbaus durch kurzzeitige Unterbrechung der Überflutung (Problem: Die Durchlüftung der Böden fördert die N_2O -Bildung);
 - Erhöhung der Wasserdrainage (Wasseraustausch); das Eindringen des sauerstoffhaltigen Flutwassers in die anaeroben Bodenschichten reduziert die Methanbildung.

- Verändertes Düngemanagement;
 - Verzicht auf Gründüngung/Strohdüngung (Die Zugabe organischer Substanz in den Boden erhöht deutlich die Methanemissionen);
 - Teilweiser Ersatz der organischen Düngung durch mineralische Düngung;
 - Zugabe von kompostiertem organischem Material, da hier die leicht mineralisierbare organische Substanz bereits abgebaut wurde.

Der von anderen Seiten empfohlene Einsatz von nitrifikationshemmenden Chemikalien (u. a. Calciumcarbid) zur Reduktion der Stickstoffverluste und der Methanemissionen wird als problematisch erachtet, weil derzeit die Folgewirkungen dieses Chemikalieneinsatzes nicht absehbar sind. Es sind weitere eingehende Untersuchungen notwendig, um die Unsicherheiten bei der Methanemission aus Reisfeldern einzugrenzen und umsetzbare Reduktionsmaßnahmen zu entwickeln.

4.4 Handlungsempfehlungen der Enquete-Kommission

Auf der Grundlage der bisher dargestellten Handlungsoptionen empfiehlt die Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ dem Deutschen Bundestag und der Bundesregierung, sich auf nationaler und europäischer Ebene für die Umsetzung der im folgenden aufgelisteten Maßnahmen einzusetzen, die auf eine Verringerung der klimawirksamen Emissionen aus der Landwirtschaft ausgerichtet sind. Dabei sollen durch die Umstellung auf eine flächendeckend umweltverträgliche Landbewirtschaftung gleichzeitig mit der Emissionsminderung folgende Ziele erreicht werden:

- die Schonung und der dauerhafte Erhalt der natürlichen Lebensgrundlagen Boden, Wasser und Luft;
- der Schutz der Artenvielfalt und der Biotopschutz;
- der Erhalt und die Pflege der Kulturlandschaft;
- die Sicherung und Verbesserung des ländlichen Lebensraumes, der ländlichen Sozialstruktur, der Arbeitsplätze und angemessener Einkommen der Landwirte;
- die ausgewogene Versorgung der Bevölkerung mit qualitativ hochwertigen Nahrungsmitteln;
- die Rückführung der Überschussproduktion in den Industrieländern.

Des weiteren schlägt die Enquete-Kommission der Bundesregierung vor, sich auch im internationalen Bereich, so insbesondere durch ihre bilaterale Entwicklungszusammenarbeit sowie ihren Sitz und ihre Stimme in internationalen Organisationen (EU, UN, IWF, Weltbank etc.) für die Gestaltung und Durchsetzung einer weltweit dauerhaften, tragfähigen und umweltverträglichen Form der Landbewirtschaftung einzusetzen. Ziel muß die Erreichung und Sicherstellung einer weitgehenden Selbstversorgung in allen

Regionen der Erde, insbesondere auch in den Entwicklungsländern, durch eine ressourcenschonende sowie umwelt- und klimaverträgliche Landschaftsbewirtschaftung sein. Soweit die regionale Selbstversorgung nicht mehr gewährleistet werden kann, ist das Versorgungsdefizit durch eine verstärkte Entwicklungshilfe, ggf. durch Nahrungsmittelimporte, sicherzustellen.

4.4.1 Handlungsempfehlungen auf nationaler und europäischer Ebene

4.4.1.1 Veränderung der agrarpolitischen Rahmenbedingungen im Hinblick auf die Umsetzung einer nachhaltigen umweltverträglichen Landbewirtschaftung

Der ökologische Landbau kommt dem Ziel einer nachhaltigen Landbewirtschaftung — entsprechend der Definition in Kapitel 4.1.7 — am nächsten. Grundsätzlich ist die umweltverträgliche Landbewirtschaftung voranzutreiben. Daher sollte diese Form der Landbewirtschaftung vorrangig gefördert werden. Anstelle einer umwelt- und klimabelastenden Intensivlandwirtschaft ist möglichst umgehend eine flächendeckend umweltverträgliche Landbewirtschaftung einzuführen. Aus betriebs- und volkswirtschaftlicher Sicht sowie aufgrund ökologischer und klimapolitischer Notwendigkeiten ist eine grundlegende Neuorientierung der nationalen und europäischen Agrarpolitik unter den oben genannten Aspekten unumgänglich. Hierzu werden folgende Maßnahmen empfohlen:

- erhebliche Ausweitung der — an Selbsthilfe der Betroffenen anknüpfenden — finanziellen Förderung des umweltverträglichen Landbaus durch die Europäische Union, den Bund und die Länder über die Förderung der Vermarktung, insbesondere durch Verbraucheraufklärung und allgemein der Markterweiterung für umweltverträglich erzeugte Produkte;
- indirekte Förderung des umweltverträglichen Landbaus durch Internalisierung der externen Kosten der umweltbelastenden Überschussproduktion durch eine Stickstoffabgabe/-steuer sowie eine Gülleabgabe, soweit ein vorab zu schaffendes Förderprogramm zur Verringerung der Güllemenge innerhalb von fünf Jahren keine ausreichenden Erfolge bringt, eine Verteuerung von Pestiziden etc.
- künftig Kopplung des Einkommensausgleichs innerhalb der EG-Agrarreform an strukturelle, regional ausdifferenzierte (Subsidiaritätsprinzip) Kriterien und die Umweltverträglichkeit;
- Förderung der Ausbildung, Beratung und Forschung im Bereich ökologischer und generell umweltverträglicher Produktionsverfahren;
- Rückführung der Agrarüberschüsse; **Ein Teil der Enquete-Kommission** spricht sich dabei für eine flächendeckend extensive Landbewirtschaftung, **ein anderer Teil der Kommission** für eine flächendeckend intensivere Landbewirtschaftung aus

(diese Unterscheidung gilt durchgängig für die gesamten Handlungsempfehlungen); Schaffung entsprechender Anreize durch die Neugestaltung der Finanzierungsmechanismen des EU-Agrarhaushaltes;

- Vergütung der ökologischen und landschaftspflegerischen Leistungen der Landwirtschaft durch staatliche Transferleistungen;
- Streichung der Landwirtschaftsklauseln im Bundes-Naturschutzgesetz sowie in den Landes-Naturschutzgesetzen

4.4.1.2 Maßnahmen zur Reduzierung von Methanemissionen (CH₄)

a) Reduzierung der Tierbestände/Bindung an die Fläche

- Künftig soll — mit der Möglichkeit zur Anpassung — der bisherig gewährte Einkommensausgleich nach dem Grad der Umwelt- und Klimabelastung bzw. artgerechten Haltungssystemen gestaffelt werden. Bei Überschreitung der — nach der EG-Agrarreform — förderfähigen Höchstbesatzdichte (GVE/ha Futterfläche) (Kap.1.1.4.1; 1994: 3,0 GVE/ha; 1995: 2,5 GVE/ha; 1996: 2,0 GVE/ha) sollten die Betriebe von der Förderung ausgeschlossen werden;
- Durch eine Internalisierung der externen Kosten der Tierproduktion z. B. durch Einführung einer Abgabe/Steuer auf Gülleüberschüsse — soweit ein vorab zu schaffendes Förderprogramm zur Verringerung der Güllemenge innerhalb von fünf Jahren keine ausreichenden Erfolge bringt — und die Verringerung der Importfuttermittelmengen, unter Berücksichtigung der Erfahrungen aus den WTO/GATT-Regelungen (siehe 4.4.1.3), sollte eine schrittweise Umstellung auf umwelt-, klima- und tiergerechte Haltungsformen auf Stroheinstreu durchgesetzt werden;
- Die nach Ablauf der Förderprogramme eingehenden Einnahmen aus Abgaben/Steuern sind dafür einzusetzen, die Landwirte bei der Umstellung finanziell zu unterstützen (siehe c));
- Strikte Beibehaltung einer nur regionalen Handelbarkeit der Milchquoten und Rückführung freiwerdender Milchquoten in reine Grünlandgebiete zur Sicherung der ökonomischen Basis der Grünlandbewirtschaftung bzw. in vorzugsweise umweltverträglich wirtschaftende Betriebe;
- Bindung der Tierhaltung an die Fläche auf weitgehend betriebseigener Futtergrundlage bei einer Bestandsdichte von maximal 1,5 GVE/ha LN, ggf. zusätzlich nach boden-, klima- und hydrogeologischen Standortbedingungen; Eine Möglichkeit hierzu bietet die Änderung des Bewertungsgesetzes im Rahmen des Steuerrechtes, mit der nicht umweltverträglich produzierende Betriebe von jeglicher Agrarförderung

und Privilegierung des Agrarbereichs ausgeschlossen werden können;

b) Reduzierung der Methanemission je Produkteinheit

- Förderung der Ausbildung und Beratung im Bereich der Tierfütterung hinsichtlich Management und Verbesserung der Nährstoffverwertung durch optimierte Fütterung auf betriebseigener Futtergrundlage;
- Verbot der Leistungssteigerung durch Hormonzugabe;
- **Teile der Enquete-Kommission** sehen ein Verbot der gentechnologischen Beeinflussung der Pansenmikroflora bzw. der Fortpflanzung als notwendig an, **andere Teile der Kommission** sehen Lösungsansätze im Rahmen der bestehenden Gesetze (z. B. Gentechnologie-Gesetz).

c) Verringerung der Methanemissionen aus den Exkrementen

- Mittelfristig Rückführung der Güllewirtschaft durch Förderung der technischen Weiterentwicklung und der Wiedereinführung bzw. Beibehaltung umwelt-, klima- und tiergerechter Festmisthaltungssysteme;
- Investitionsförderung sowie Förderung der Ausbildung und Beratung zur Berücksichtigung emissionsmindernder Maßnahmen im Bereich Stallbau/Stallhygiene/Wirtschaftsdünderlagerung etc.;
- Einführung einer Pflicht zur Abdeckung der Güllelager (Dünge- bzw. Gülleverordnung, BImSchG);
- Beibehaltung der Genehmigungspflicht von Tierhaltungsanlagen mit mehr als 100 GVE⁷⁾;
- Genehmigungsaufgaben (BImSchG) zur Verminderung der Ausgasung durch stallbauliche Maßnahmen (Verringerung der Emissionsoberfläche durch Gestaltung der Güllekanäle, Teilstatt Vollspaltenböden etc.);
- Einführung einer Gülleabgabe/-steuer, unter Berücksichtigung der Erfahrungen aus einem vorab zu schaffenden, fünf Jahre laufenden Förderprogramm zur Verringerung der Güllemengen, mittelfristig zur Finanzierung von Güllebanken, Gülleverarbeitung, -vergasung bzw. -ausbringungstechnik und zur Finanzierung einer Umstellung auf Festmisthaltungssysteme (siehe 4.4.1.4, c));
- weitere Förderung — unter Berücksichtigung der Erfahrungen mit den zur Zeit betriebenen Pilotanlagen — von Biogasanlagen zur Verwer-

tung von Gülleüberschüssen und organischen Abfällen (siehe Kap. 4.4.1.5, c));

4.4.1.3 Maßnahmen zur Reduzierung von Distickstoffoxidemissionen (N₂O)

a) Begrenzung des mineralischen Stickstoffdüngereinsatzes

- Einführung einer Stickstoffabgabe mit einer stufenweisen Anhebung des Preises für mineralische Stickstoffdünger. Hierbei sollten die Mitelaufkommen in Form direkter Einkommensübertragungen an die Landwirte zurückfließen, die sich an Extensivierungs- und Landschaftspflegemaßnahmen beteiligen. Zu Einkommensverlusten kommt es nur bei den Landwirten, die mit hohem Mineraldüngereinsatz wirtschaften, extensiv und umweltverträglich wirtschaftende Landwirte dagegen erzielen sogar Einkommensverbesserungen;

— **Ein Teil der Enquete-Kommission** plädiert für eine stufenweise Anhebung der Stickstoffabgabe auf 4 bis 5 DM je kg N bis zum Jahr 2000; **ein Teil** lehnt dies in dieser Höhe ab.

- Konsequente Umsetzung der EG-Nitratrichtlinie durch eine Düngeverordnung. Darüber hinaus sollte mittel- bis langfristig die Gesamtmenge an ausgebrachtem Stickstoff (Mineraldünger und Wirtschaftsdünger) deutlich vermindert und die betrieblichen Kreisläufe geschlossen werden.

b) Bindung der Tierhaltung an die Fläche (siehe 4.4.1.1)

c) Bewirtschaftungsmaßnahmen zur Beeinflussung der Distickstoffoxidemissionen

- Umbruch von Grünflächen nur in Ausnahmefällen;
- Festschreibung emissionsmindernder Bewirtschaftungsmaßnahmen in der Düngeverordnung; Förderung der Ausbildung und Beratung;

4.4.1.4 Maßnahmen zur Reduzierung der Ammoniakemissionen (NH₃)

a) Reduzierung der Tierbestände/Bindung der Tierhaltung an die Fläche (siehe 4.4.1.2, a))

b) Reduzierung der Ammoniakemissionen je Produkteinheit

- Internalisierung der externen Kosten der Tierproduktion (siehe Kap. 4.4.1.1);
- Förderung der Ausbildung und Beratung im Bereich der Tierfütterung hinsichtlich Management und Verbesserung der Nährstoffverwertung durch optimierte Fütterung (bedarfsorientierte Phasenfütterung und gezielte Zugabe limitierender Nähr- und Wirkstoffe bei einer Tierhaltung auf betriebseigener Futtergrundlage);

⁷⁾ Die Zahl von 100 GVE basiert auf der Verordnung für genehmigungsbedürftige Anlagen (4. BImSchV); Demnach sind Anlage zum Halten und zur Aufzucht von Geflügel oder zum Halten von Schweinen mit mehr als 7 000 Hennen-, 14 000 Junghennen-, 14 000 Mastgeflügel-, 7 000 Truthühner-, 700 Mastschweine- oder 250 Sauenplätzen genehmigungsbedürftig.

c) Lagerung, Aufbereitung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern

Verbesserung der Ausbildung und Beratung zur Berücksichtigung emissionsmindernder Maßnahmen im Bereich Stallbau/Stallhygiene/Wirtschaftsdüngerlagerung und Wirtschaftsdüngerausbringung etc.;

- Förderung der bodennahen Ausbringung (Schleppschlauch, Injektion etc.) und der sofortigen Einarbeitung der Wirtschaftsdünger (vor allem Gülle);
- Investitionsförderung zur Berücksichtigung emissionsmindernder Maßnahmen im Bereich Stallbau/Stallhygiene/Wirtschaftsdüngerlagerung und Wirtschaftsdüngerausbringung etc.
- Genehmigungsaufgaben⁸⁾ zur Berücksichtigung emissionsmindernder Maßnahmen im Bereich Stallbau/Stallhygiene/Wirtschaftsdüngerlagerung etc.;
- Partielle Umstellung der Güllewirtschaft durch Umbau auf Festmiststallhaltungssysteme (siehe 4.4.1.1)
- Einführung einer Gülleabgabe/-steuer in Höhe von zunächst 2 DM/kg Gülle-N (bei Überschreiten von 1,5 DE/ha LN), unter Berücksichtigung der Erfahrungen aus einem vorab zu schaffenden fünf Jahre laufenden Förderprogramm zur Verringerung der Güllmengen, mittelfristig zur Finanzierung von Güllebanken (regionale Umverteilung), Gülleverarbeitung, -vergasung (Biogas) bzw. -ausbringungstechnik und zur Finanzierung einer Umstellung auf Festmisthaltungssysteme (siehe 4.4.1.2, c));

d) Verwendung von stickstoffhaltigen Mineraldüngern

- Auflagen bzw. Einschränkungen (Abgabe/Steuer) der Anwendung alkalisch wirkender Stickstoffdünger bzw. Ammoniumdünger (Düngeverordnung)(Kap. 4.2.3.4)

4.4.1.5 Maßnahmen zur Reduzierung von Kohlendioxidemissionen (CO₂)

a) Bodenschutz und Humuswirtschaft

- Umbruch von Grünlandflächen nur in Ausnahmefällen;
- Einführung verbindlicher Auflagen für Bodenschutzmaßnahmen (vgl. Kap. 4.2.4.1) mit dem Ziel des Erosionsschutzes und der Sicherstellung einer geregelten Humuswirtschaft (Bundes-Bodenschutzgesetz und dessen Ausführungsverordnungen);
- **Teile der Enquete-Kommission** schlagen die Einrichtung eines Müllkompost-Haftungsfonds zur Förderung der stofflichen Verwertung (or-

ganische Düngung) von Müllkompost aus Siedlungsabfällen in der Landwirtschaft vor (analog zum Klärschlamm-Haftungsfonds); dies führt gleichzeitig zur Verringerung der Methanemissionen aus der Deponierung bzw. der CO₂-Emissionen aus der Verbrennung von organischen Siedlungsabfällen. Voraussetzung hierfür ist eine weitgehende Vermeidung von Schadstoffbelastungen des Müllkomposts. Hierzu gehören die möglichst lückenlose Erfassung von Schadstoffquellen und Maßnahmen zu ihrer Vermeidung.

Ein Teil der Enquete-Kommission lehnt dies ab.

b) Senkung des Energieverbrauchs in der Landwirtschaft

- Ausbau der Programme zur Energieeinsparung bei landwirtschaftlichen Maschinen, Anlagen etc. und Förderung regenerativer Energien (siehe c));
- Energieeinsparung durch flächendeckend extensivere Landbewirtschaftung, vor allem durch Reduzierung des Einsatzes von Mineraldüngern (siehe 4.4.1.2), von Zukauf- sowie Importfuttermitteln, von Treibstoffen und anderen Energieträgern und von Bioziden;
- Umwidmung der Gasölbeihilfe/Steuerbefreiung in eine Förderung nachwachsender Rohstoffe und Energieträger im Bereich der Landwirtschaft (siehe c));
- EU-weite Harmonisierung der Dieselbesteuerung auf höherem Niveau (Tab. 4.5);
- Einführung einer CO₂/Energiesteuer (Internalisierung externer Kosten)

Ein Teil der Enquete-Kommission schlägt zudem eine Erhöhung der Mineralölsteuer vor, um damit lange Transportwege zu verteuern sowie insgesamt die saisonalen und regionalen Aspekte bei der Nahrungsmittelversorgung zu stärken und energieintensive Produktionsverfahren (Gewächshausanbau) zu verteuern; **Ein anderer Teil der Enquete-Kommission lehnt dies ab.**

c) Nutzung der Biomasse aus Rest- und Abfallstoffen/Anbau nachwachsender Rohstoffe und Energieträger

- Weitere Förderung (Anschub-Finanzierung) kleiner und mittlerer dezentraler Heizkraftwerke (BHKW), unter Berücksichtigung der Erfahrungen aus den zur Zeit bestehenden Pilotanlagen, zur Verfeuerung von Festbrennstoffen und Biogas (vor allem aus Rest- und Abfallstoffen); Insbesondere in den neuen Ländern ergeben sich durch die vorhandenen Fernwärmenetze und die landwirtschaftliche Betriebsstruktur wesentliche Potentiale;
- Anhebung der Einspeisevergütung für Strom aus Biomasse auf das Niveau anderer regenerativer Energiequellen (Stromeinspeisungsgesetz);

⁸⁾ Gemäß den Festschreibungen in der 4. BImSchV und der TA Luft sowie den entsprechenden Durchführungsverordnungen auf Länderebene.

- Einführung einer CO₂/Energiesteuer, von der regenerative Energiequellen ausgenommen sind;
- Förderung des Einsatzes pflanzlicher Treib- und Schmierstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen/Energieträgern in der Forst- und Landwirtschaft, sofern sie in Produktion und Verbrauch eindeutig ökologisch verträglich sind;
- Förderung der Forschung vor allem im Bereich produktbezogener Öko- und Klimabilanzen.

Die konsequente Umsetzung der Empfehlungen ist aus volks- und landwirtschaftlicher Sicht sowie nach derzeitigem Stand des Wissens und der Technik durch eine Verringerung der bisherigen Überschüsse und die Umverteilung der bisherigen Agrarmarktausgaben ohne Einkommensverluste der Landwirte möglich. Die Maßnahmen führen — neben weiteren Umweltentlastungen — mindestens zu einer Halbierung aller Treibhausgasemissionen aus dem Bereich der nationalen und europäischen Landwirtschaft. Der Anteil der Landwirtschaft am nationalen Treibhauspotential (Summe aller CO₂-äquivalenten Treibhausgase) würde damit — bezogen auf die heutige Emission — von etwa 15 % auf etwa die Hälfte davon gesenkt werden. Das von der Bundesregierung in ihrem Nationalbericht formulierte Ziel einer Reduktion des Treibhauspotentials um 50 % bis zum Jahr 2005 würde damit vom Landwirtschaftssektor erreicht (BMU 1993).

4.4.2 Handlungsempfehlungen auf internationaler Ebene

4.4.2.1 Veränderungen der politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen des Welthandels und der wirtschaftlichen Zusammenarbeit

a) Rahmenbedingungen des Welthandels

- Verringerung der Überschußproduktion und der Exportsubventionen in den Industrieländern;
- Verbesserung des Marktzugangs für die Entwicklungsländer durch den Abbau von Handelshemmnissen — insbesondere für weiterverarbeitete Produkte;
- Aufnahme verbindlicher Umweltstandards (auch für Agrarprodukte) in das Welthandelsabkommen;
- Transfer umweltschonender Technologien und Verfahren

b) Wirtschaftliche Zusammenarbeit

- Schuldenerlaß für die ärmsten Entwicklungsländer und Aussetzung der Schuldendienstzahlungen der armen Entwicklungsländer, fallweise auch Schuldenerlaß. Dabei ist auf Eigenanstrengungen, wie etwa die drastische Reduzierung der Militärausgaben in den Schuldnerländern hinzuwirken;

- Berücksichtigung von Umweltkriterien (z. B. UVP) sowie nationaler Entwicklungspläne bei Investitionen in Entwicklungsländern durch supranationale Organisationen, Banken und Konzerne, um eine/n unkontrollierte/n Nutzung/Abbau von natürlichen Ressourcen und Umweltzerstörung in den Entwicklungsländern zu verhindern;
- verstärkte Kooperation mit der lokalen Bevölkerung und Nichtregierungs-Organisationen;
- Erfassung der ökologischen, sozialen und ökonomischen Folgekosten von Investitionen und deren Ausgleich (UVP);
- umfassende Regelung der Unternehmenshaftpflicht;
- Keine weitere Mit-/Finanzierung von nachweislich umweltschädigenden und sozial unverträglichen Projekten;
- Erhöhung der Finanzmittel für die staatliche Entwicklungshilfe auf mindestens 0,7 % des Bruttosozialprodukts bis zum Jahr 2000, insbesondere auch zur Aufstockung der Mittel im Landwirtschaftsbereich (Agroforstwirtschaft);
- „Debt-for-Nature-Swaps“ (Schuldenerlaß bzw. Kompensationszahlungen für Umweltschutzmaßnahmen);

4.4.2.2 Maßnahmen zur Verringerung des Bevölkerungswachstums

- Finanzielle Förderung aller Maßnahmen zur Verringerung des Bevölkerungswachstums;
- Aufstockung der Finanzmittel der UNFPA;
- Verbesserung des Lebensstandards, der Bildung und Ausbildung, der Stellung der Frauen in der Gesellschaft sowie der staatlichen Alterssicherung;
- Verbreitung und Förderung der Methoden der Familienplanung.

4.4.2.3 Technische Entwicklungszusammenarbeit im Agrarsektor

- Ausweitung der technischen Zusammenarbeit und entsprechende Ausweitung der finanziellen Förderung (vor allem auch für Ausbildung und Beratung) mit dem Ziel
 - des Bodenschutzes,
 - der Eindämmung der Desertifikation,
 - der Ausweitung ressourcenschonender und nachhaltiger umweltverträglicher Bewirtschaftungssysteme,
 - der Erhöhung der Produktivität durch verbesserte Anbaumethoden (Ecofarming/Agroforstwirtschaft) und
 - der Sicherung der Ernährung und Selbstversorgung in den Entwicklungsländern;

- Auswahl und Züchtung geeigneter Reispflanzen mit geringerem Methantransport durch die Pflanze, aber unter Berücksichtigung einer ausreichenden Sortenvielfalt;
- Verändertes Bewässerungs- und Düngungsmanagement zur Senkung der Methanemissionen (Kap. 4.3.3.1);
- Förderung der Ausbildung und Beratung in Reisanbaugesetzen;
- Koordination der Forschung zur Verbreitung und Umsetzung von Forschungsergebnissen.

4.5 Möglichkeiten der Anpassung der Landwirtschaft an die Klimaänderung

Das Klimasystem reagiert z. B. durch die Wärme- und Kohlenstoffspeicherung der Ozeane mit erheblicher zeitlicher Verzögerung auf den steigenden Eintrag klimawirksamer Spurengase. Die meisten Treibhausgase haben eine Lebensdauer bzw. atmosphärische Verweilzeit von mehreren Jahrzehnten bis zu Jahrhunderten. Außerdem gibt es zur Zeit international kaum ernsthafte Initiativen zur Emissionsminderung oder sogar zur Stabilisierung bzw. Verringerung der atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen. Es muß daher realistischerweise mit dem Voranschreiten der Klimaänderung gerechnet werden.

Bei einem Temperaturanstieg von mehr als 0,1°C pro Jahrzehnt ist die Anpassungsfähigkeit natürlicher und naturnaher Ökosysteme überfordert. Es kommt vermutlich zum Ausfall einzelner Arten und zur Destabilisierung der Ökosysteme (Abschnitt C). Agrarökosysteme sind dagegen maßgeblich durch Bewirtschaftungsmaßnahmen geprägt. Man kann daher annehmen, daß je nach regionaler Ausprägung der Klimaänderung und in Abhängigkeit von Know-how und Kapitalkraft Anpassungsmöglichkeiten an künftige Anbaubedingungen gegeben sein werden, insbesondere in der Landwirtschaft Europas bzw. der gemäßigten Breiten der Nordhemisphäre. Derzeit ist es jedoch noch nicht möglich, zuverlässige Szenarien künftiger Klimabedingungen, d. h. der regionalen Temperatur- und Niederschlagsverteilung sowie der CO₂-, O₃- und UV-B-Änderungen darzustellen, die es erlauben würden, entsprechende Anpassungsstrategien für die landwirtschaftliche Forschung und Praxis zu entwickeln. Eine Anpassung der Landwirtschaft an eine künftige Klimaänderung könnte — bereits mit dem vorhandenen Arten- und Sortenspektrum und heutiger Technik — durch folgende Maßnahmen erfolgen (Sauerbeck, 1992):

- Anpassung der Anbaustrukturen und -systeme an die veränderten klimatischen Bedingungen;
- Anbau von wärme- und trockenheitstoleranteren Pflanzenarten bzw. -sorten;
- Zeitliche Veränderung und Anpassung der Bodenbearbeitung, Aussaat, Düngung; Pflanzenschutzmaßnahmen und Ernte;
- Wechsel von Sommer- zu Wintergetreide in bisher dafür ungeeigneten Regionen;

- Wahl geeigneter Arten und Sorten, die an eine längere Vegetationsperiode angepaßt sind;
- Bedarfsweise Wiederbewirtschaftung stillgelegter Flächen;
- Wiedereinführung und Weiterentwicklung wasserschonender Fruchtfolgen und Anbautechniken;

In Anbetracht der bereits heute weltweit wachsenden Nutzungskonkurrenz bei rückläufiger Verfügbarkeit von Wasser in ausreichender Menge und Qualität sowie aufgrund des hohen Kapitalbedarfs und der zunehmenden Versalzung der Böden ist künftig mit einem Rückgang des Bewässerungsfeldbaus zu rechnen.

Zur Selektion der an künftige Umwelt- bzw. Anbaubedingungen besonders angepaßten Sorten ist ein systematisches Sorten-Screening durchzuführen. Da es der Landwirtschaft bereits in der Vergangenheit gelungen ist, sich — auch mit Hilfe der Pflanzenzüchtung — den unterschiedlichsten Standortverhältnissen anzupassen, werden große Hoffnungen auch in die Pflanzenzüchtung gesetzt. Die Anpassung an die prognostizierten Umweltbedingungen erfordert die Züchtung wärme- und trockenheitstoleranter Pflanzensorten sowie die Resistenzzüchtung auf neue bzw. zunehmende Pflanzenkrankheiten. Sowohl bei dem Sorten-Screening als auch in der Züchtung darf jedoch nicht wie bisher allein das physikalische Klima berücksichtigt werden, sondern es muß auch der Anstieg von CO₂, O₃ und UV-B einbezogen werden (Kap. 4.6). Problematisch ist jedoch die Tatsache, daß man in Ermangelung präziser Prognosen der regionalen Klimaänderungen im Moment kaum klare Zuchtziele festlegen kann. Falls aber die Klimaänderung so rasch wie befürchtet eintreten sollte, wird die Pflanzenzüchtung umso schwerer darauf reagieren können, da die Züchtung einer neuen Sorte häufig mehr als zehn Jahre dauert. Bei allen Hoffnungen, die die Pflanzenzüchtung und der technische Fortschritt für die Zukunft der Landwirtschaft verheißen, ist daher eine gesunde Skepsis angebracht. „Ob der Mensch die Natur überlisten, verbessern kann und dies auch noch dauerhaft und langfristig umweltverträglich, kann man zumindest in Frage stellen“ (Heinloth, 1993).

Die kommende Klimaänderung wird sich zudem nicht geradlinig und berechenbar entwickeln, sie bedroht die Landwirtschaft ebenso wie die natürlichen Ökosysteme vielmehr mit neuen Extremwerten und vermutlich einer Zunahme extremer Wetterereignisse. Je intensiver und spezialisierter die Landbewirtschaftung erfolgt, je höher die Erträge durch Einsatz produktionssteigernder Betriebsmittel sind, desto anfälliger werden die Agrarökosysteme und desto höher ist der Kontroll- und Regelaufwand seitens des Menschen. Höchsterträge sind nur durch den Einsatz von Düngemitteln und Pestiziden zu erzielen. Die Mischkultursysteme der Agroforstwirtschaft oder des ökologischen Landbaus fügen sich harmonischer in die Umgebung und die ökosystemaren Verflechtungen ein als die großflächigen Monokulturen der Intensivlandwirtschaft. Ohne ihre chemischen Hilfsmittel ist die konventionelle Landwirtschaft erheblich anfälliger.

liger als der ohne chemische Hilfsmittel wirtschaftende ökologische Landbau, der auf der Förderung der natürlichen Widerstandskräfte im Agrarökosystem sowie dem Verbund mit Nachbarökosystemen aufbaut. Eine nachhaltige Landbewirtschaftung stellt damit das stabilere und anpassungsfähigere System für die kommende Klimaänderung dar. Dies gilt weltweit, insbesondere aber in den derzeitigen bzw. zukünftigen Problemgebieten in den Entwicklungsländern.

4.6 Forschungsbedarf

Es sind wesentliche und in vieler Hinsicht neue Erkenntnisse über den Beitrag der Landwirtschaft zur Änderung der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre, hier insbesondere der direkt und indirekt wirksamen Spurenstoffe, gewonnen worden. Die Prozesse, die zur Bildung und zum Abbau von klimarelevanten Spurenstoffen in der Landwirtschaft führen, sind zwar grundlegend verstanden, allerdings bestehen erhebliche Kenntnisdefizite über die komplexen Wechselwirkungen zwischen den Bildungs- und Abbauprozessen von Spurengasen in den entsprechenden landwirtschaftlich beeinflussten Ökosystemen sowie über den Einfluß unterschiedlicher landwirtschaftlicher Praktiken auf die Emissions- und Depositionsraten klimarelevanter Spurenstoffe. Des weiteren sind wir weit davon entfernt, ausreichendes Datenmaterial (z. B. durch Feldmessungen) zur Verfügung zu haben, um die Stoff-Flüsse der einzelnen klimarelevanten Spurenstoffe aufgrund landwirtschaftlicher Aktivitäten im globalen als auch regionalen Maßstab mit zufriedenstellender Sicherheit abschätzen zu können. Völlig offen ist, wie sich die prognostizierten Klimaänderungen auf die Emissionen und Depositionen klimarelevanter Spurenstoffe im Agrarökosystem auswirken werden und wie diese wiederum die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre, insbesondere die Oxidationskapazität der Troposphäre, verändern werden. Derartige Veränderungen sind nicht nur deshalb zu erwarten, weil die zur Bildung und zum Abbau von klimarelevanten Spurenstoffen verantwortlichen biologischen und mikrobiologischen Prozesse stark von den Umgebungsbedingungen abhängig sind, sondern weil die prognostizierte Klimaänderung auch Einfluß auf die Struktur der Landwirtschaft, d. h. der angebauten Produkte, landwirtschaftlichen Praktiken etc., nehmen wird.

Um diese Kenntnisdefizite abzubauen, sind weitere Forschungsarbeiten notwendig, die sich u. a. auf die folgenden Schwerpunkte konzentrieren:

- Quantifizierung der regionalen und globalen Quell- und Senkenstärken wichtiger direkt und indirekt klimawirksamer Spurenstoffe (u. a. COS, N₂O, CH₄, NH₃, NO_x, VOC);
- Durchführung von Prozeß-Studien zu Bildung und Abbau von klimarelevanten Spurenstoffen sowie zum Transport dieser Substanzen aus dem System in die Atmosphäre (diese Untersuchungen sind wichtig, um geeignete und effiziente Maßnahmen zur Reduzierung der Emission von klimarelevanten

Spurenstoffen in die Atmosphäre definieren zu können);

- Untersuchungen über den Einfluß von Klimaänderungen auf die Emissions- und Depositionsraten von klimarelevanten Spurenstoffen in Agrarökosystemen;
- Entwicklung von numerischen Modellen zur Simulation der Emission und Deposition von Spurenstoffen durch landwirtschaftliche Aktivitäten.

Diese Informationen bzw. Instrumente sind notwendig, um quantitative und allgemein respektierte Aussagen über den Beitrag landwirtschaftlicher Aktivitäten zu den biogeochemischen Zyklen wichtiger umweltrelevanter Spurenstoffe und deren zukünftige Entwicklung (u. a. in Anbetracht einer wachsenden Weltbevölkerung und der damit verbundenen höheren landwirtschaftlichen Produktion sowie einer zukünftigen Klimaänderung) machen zu können.

Darüber hinaus besteht weiterer Forschungsbedarf insbesondere zu den Problemkreisen der

- Folgenabschätzung von Klimaänderungen und einer Spurengaszunahme in Agrarökosystemen und anderen terrestrischen Ökosystemen und der
- Anpassungsstrategie der Landwirtschaft an veränderte Klimabedingungen.

So wurden Wirkungen jeweils einzelner Faktoren, wie z. B. die physiologischen Wirkungen erhöhter atmosphärischer CO₂-Konzentrationen auf einzelne Pflanzenarten zwar vergleichsweise häufig untersucht, doch können für den landwirtschaftlichen Pflanzenbau wichtige Fragen anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht oder nur ungenügend beantwortet werden, z. B.

- wie reagieren Pflanzen auf erhöhte CO₂-Konzentrationen unter Feldbedingungen (d. h. während des gesamten Entwicklungszyklus der Kulturpflanzen)?
- Welche Wechselwirkungen sind zu erwarten, wenn der CO₂-Anstieg von einem Temperaturanstieg begleitet ist?
- Welche Wirkungen hat ein CO₂-Anstieg auf den pflanzlichen Wasserhaushalt (Wassernutzungseffizienz) bzw. den Gebietswasserhaushalt?
- Welche Wirkungen auf Ertrag und Qualität landwirtschaftlicher Kulturen ergeben sich aus einer CO₂-Zunahme bei unterschiedlicher Nährstoffversorgung bzw. Düngung?
- Wie wirkt sich ein CO₂-Anstieg auf die pflanzliche Entwicklung und Kohlenstoffverlagerung aus?
- Welchen Einfluß hat ein CO₂-Anstieg auf das Wurzelwachstum, die Rhizosphäre und bodenmikrobiologische Prozesse?
- In welchem Maße wird die CO₂-Wirkung modifiziert durch
 - eine unterschiedliche Wasserversorgung?
 - ein unterschiedliches Licht- bzw. Strahlungsangebot?

- erhöhte O₃-Konzentration in der Troposphäre?
- eine erhöhte UV-B-Strahlung?

Ausgeprägte Wissensdefizite gibt es im Hinblick auf mögliche Auswirkungen globaler und regionaler Umweltveränderungen auf die Struktur, Funktion und Dynamik terrestrischer Ökosysteme. Wechselwirkungen und Interaktionen der verschiedenen Faktorenkomplexe lassen sich hier aufgrund fehlender systematischer Untersuchungen z.Zt. kaum abschätzen. Es erscheint daher dringlich, mit geeigneten, freiland- und ökosystemorientierten Untersuchungsansätzen die Reaktionen und die dynamische Entwicklung verschiedener Ökosysteme (intensiv, extensiv bzw. ökologisch bewirtschaftete Agrarökosysteme, Dauergründlandsysteme, natürliche bzw. naturnahe Ökosysteme) unter veränderten Umweltbedingungen zu untersuchen. Von herausragendem Interesse sind dabei die Auswirkungen von klimatischen Faktoren sowie eines CO₂-Anstieges, einer Zunahme des troposphärischen Ozons und der Intensität der UV-B-Strahlung auf

- Artenzusammensetzung und -verteilung,
- intra- und interspezifische Konkurrenz und Symbiose,
- Wirt/Parasit-Beziehungen,
- Populationsdynamik,
- Biomasseproduktion, -verteilung und -abbau,
- Energieflüsse,
- Wasserhaushalt,
- Nährstoffkreisläufe und -bilanzen,

sowie deren mögliche Wechselwirkungen mit bzw. Beeinflussung durch Kulturmaßnahmen (Düngung, Pflanzenschutz, Bodenbearbeitung, Fruchtfolge, etc).

Um die Veränderungen der klimatischen Faktoren auf regionaler Ebene zu prognostizieren, müssen zunächst die Klimamodellrechnungen weiter verbessert werden. Darüber hinaus bedarf es einer Verbesserung vorhandener bzw. einer Entwicklung neuer, regional angepaßter Wachstums- und Ertragsmodelle für verschiedene Pflanzen und Pflanzengemeinschaften.

Auf der Grundlage von Prognosen und Szenarien zur Veränderung des chemischen und physikalischen Klimas sowie den darauf aufbauenden Wirkungsabschätzungen (Versuchs- und Simulationsergebnisse) können mögliche Anpassungsstrategien entwickelt werden (Kap. 4.5), die zum Erhalt der Lebensgrundlagen und zur Sicherung der Nahrungsmittelversorgung künftig notwendig werden. Ziel muß es daher sein, an der Praxis orientierte Empfehlungen zu erarbeiten, die es erlauben, unter künftigen Klimabedingungen bei minimalem Einsatz an Dünge- und Pflanzenschutzmitteln optimale Erträge mit guter Qualität zu erzielen. Notwendig ist hierzu vor allem ein systematisches Sorten-Screening (Vergleichsuntersuchungen) verschiedener landwirtschaftlicher Kulturarten bezüglich deren Reaktion gegenüber CO₂, Temperatur, Wasserversorgung, troposphärischem Ozon und UV-B-Strahlung. Auf der Grundlage von Wirkungsanalysen ist weiterhin eine Analyse von Wechselwirkungen zwischen regionalen Umweltveränderungen und den Bewirtschaftungsmaßnahmen notwendig, um neben der Sorten- bzw. Artenwahl auch die Kulturmaßnahmen (Düngung, Pflanzenschutz, Bodenbearbeitung, Fruchtfolge etc.) an künftige Gegebenheiten anzupassen.

5. Literaturverzeichnis Abschnitt B

- Adams, R. M., S. A. Hamilton und B. A. McCarl (1986): The Benefits of Pollution Control: The Case of Ozone and US-Agriculture, *American Journal of Agricultural Economics*, 68, 886—894.
- AGÖL (Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Landbau) (1991): Rahmenrichtlinien zum ökologischen Landbau, SÖL-Sonderausgabe 17, 13. Aufl., AGÖL (Hrsg.), Stiftung Ökologie und Landbau, Bad Dürkheim.
- AID (Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (1989): Landwirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland — Zahlen zur Entwicklung, AID (Hrsg.), Bonn.
- AID (Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (1990): Landbau — alternativ und konventionell, AID-Broschüre 1070, AID (Hrsg.), Bonn.
- AID (Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (1992): Bodenschutz und Landwirtschaft, AID-Broschüre 1174, AID (Hrsg.), Bonn.
- AID (Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (1993): Landwirtschaft in Zahlen, AID-Broschüre 2029, AID (Hrsg.), Bonn.
- Aldag, R. (1991): Stickstoffverluste durch Ammoniakentbindung, Stoffeinträge aus der Landwirtschaft in die Atmosphäre-Strategien zur Minimierung, DLG-Arbeitsunterlagen, 67—75.
- Amelung, T. und M. Diehl (1991): Abholzung der tropischen Regenwälder: Ökonomische Ursachen und Auswirkungen auf die Entwicklung. Institut für Weltwirtschaft, Kiel.
- Andersen, U. (1991): Begriff und Situation der Entwicklungsländer, In: Informationen zur politischen Bildung, 221, Entwicklungsländer (Neudruck 1991), 2—11.
- Andreae, M. O. (1991): Schriftliche Stellungnahme zur öffentlichen Anhörung „Landwirtschaft I“ der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ am 25./26. November 1991, Deutscher Bundestag, Bonn, Kommissionsdrucksache 12/1-a, 2.

- Baker, J. T.; Allen, L. H. und K. J. Boote (1992): Response of Rice to Carbon Dioxide and Temperature, *Agricultural and Forest Meteorology*, 60, 153—166.
- Bauer, S. (1993 a), EG-Agrarreform: eine erste Bewertung aus marktwirtschaftlicher und umweltpolitischer Sicht, ZAU, 6, (1), 97—104.
- Bauer, S. (1993 b): Allgemeines Zurückfahren der Produktionsintensität — Konzept einer ökologischen Marktwirtschaft für den Agrarbereich, Vortrag zur Tagung „Extensivierung — Kulturlandschaftsprogramme oder Betriebsaufgabe?“ der Evangelischen Akademie in Iserlohn, 18.—20. Juni 1993.
- Bazzaz, F. A. (1993): Stenographisches Protokoll zur nicht-öffentlichen Anhörung „CO₂-Düungeeffekt“ der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ am 29. März 1993, Protokoll Nr. 60, Deutscher Bundestag, Bonn.
- Bazzaz, F. A. und E. D. Fajer (1992): Mehr Kohlendioxid — wie reagiert die Pflanzenwelt? Spektrum der Wissenschaft, 3/1992, 64—71.
- Bechmann, A. u. a. (1992): Ökologische Landwirtschaft für Europa — der Schritt in die Zukunft und wer ihn verhindern will, Greenpeace-Studie Wasser, Greenpeace (Hrsg.), Hamburg.
- Becker, H. und H. Guyomard (1992): Wirkungen von Preissenkungen und Düngemittelabgaben auf landwirtschaftliche Faktoreinkommen und Nährstoffbilanzen in der Europäischen Gemeinschaft, *Agrarwirtschaft*, 41, (10), 290—298.
- Beese, F. (1994): Gasförmige Stickstoffverbindungen — Stickoxide und Distickstoffoxide, In: Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ (Hrsg.), Landwirtschaft, Studienprogramm, Economica-Verlag, Bonn.
- Berger, H. K. (1989): Einfluß der Witterung auf das Schädlingsauftreten, *Der Pflanzenarzt*, 11—12/1989, 231—232.
- BINE (1992): Kostbare Krume — Bodenerosion in der Landwirtschaft, BINE (Hrsg.), Projekt Info-Service, 7/92.
- BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (1992 a): Agrarbericht 1992 — Agrar- und ernährungspolitischer Bericht der Bundesregierung, Bundestagsdrucksache 12/2038 und 12/2039 (Materialband), Deutscher Bundestag, Bonn.
- BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (1992 b): Statistisches Jahrbuch des BML, Bonn.
- BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (1992 c): Strategien für eine umweltverträgliche Landwirtschaft — Gutachten des Wissenschaftl. Beirats beim BML; Schriftenreihe A, Heft 414, Bonn.
- BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (1993 a): Statistischer Monatsbericht des BML, 1/93, Bonn.
- BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (1993 b): Agrarbericht 1993 — Agrar- und ernährungspolitischer Bericht der Bundesregierung, Bundestagsdrucksache 12/4257 und 12/4258 (Materialband), Deutscher Bundestag, Bonn.
- BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (1993 c): Statistischer Monatsbericht des BML, 7/1993, Bonn.
- BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (1993 d): Statistischer Monatsbericht des BML, 11/1993, Bonn.
- BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (1994 a): Agrarbericht 1994 — Agrar- und ernährungspolitischer Bericht der Bundesregierung, Bundestagsdrucksache 12/6750 und 12/6751 (Materialband), Deutscher Bundestag, Bonn.
- BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (1994 b): Die EG-Agrarreform — Wichtige Hinweise für die Anwendung im pflanzlichen Bereich. BML, Referat Öffentlichkeitsarbeit (Hrsg.), Bonn.
- BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (1993 c): Persönliche Auskunft zur Weltgetreideproduktion und Welternährungslage, Referat 717, Bonn.
- BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (1993 d): Reduzierung der Stickstoffemissionen der Landwirtschaft; Gutachten des Wissenschaftlichen Beirates beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Schriftenreihe A des BML, Heft 423, Bonn.
- BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) Statistische Jahrbücher des BML (Verschiedene Jahrgänge), Bonn.
- BML und BMU (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (1993): Schriftliche Stellungnahme zur öffentlichen Anhörung der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ zum Thema „Maßnahmen und Handlungsempfehlungen zur Reduktion klimawirksamer Spurengasemissionen im Landwirtschaftsbereich“ am 5. Juli 1993, Kommissionsdrucksache 12/17-e, Deutscher Bundestag, Bonn.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (1992): Bericht der Bundesregierung über die Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung im Juni 1992 in Rio de Janeiro. BMU (Hrsg.), Bonn.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (1993 a): Klimaschutz in Deutschland — Nationalbericht der Bundesregierung für die Bundesrepublik Deutschland im Vorgriff auf Artikel 12 des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. BMU (Hrsg.), Bonn.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (1993 b): Umweltpolitik der Europäischen Gemeinschaften. In: Umwelt 7-8/93, 278—281, BMU (Hrsg.), Bonn.
- BMWZ (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit) (1987): Umwelt und Entwicklung, Materialien Nr. 77. BMWZ (Hrsg.), Bonn.
- Boguslawski, E. von (1981): Ackerbau — Grundlagen der Pflanzenproduktion. DLG-Verlag, Frankfurt/Main.
- Bouwman, A. F. (1990): Exchange of Greenhouse Gases Between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere, In: Soils and the Greenhouse Effect, Proceedings of the International Conference. Soils and The Greenhouse Effect, John Wiley and Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore, 61—127.
- Bouwman, A. F. u. a. (1991): Schriftliche Stellungnahme zur öffentlichen Anhörung „Landwirtschaft I“ der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ am 25./26. November 1991, Deutscher Bundestag, Bonn, Kommissionsdrucksache 12/1-a, 207-267.
- Brockerhoff, H. (1991): Atmosphärische Gesamtbelastung und Emittenten von Ammoniak, Verminderung der Ammoniakemissionen durch pflanzenbauliche Maßnahmen; In: Emissionen von Ammoniak und Methan aus der Landwirtschaft in die Atmosphäre — Quellen und Vermeidungsmöglichkeiten; Schriftenreihe der Landwirtschaftskammer Rheinland, Heft 72, 15—18, 33—42.
- Brumme, R. und F. Beese (1992): Climatic Controlling of Greenhouse Gas Emissions from Forest Soils, Kurzfassung des Vortrages im Tagungsband zur Konferenz: „Impacts on Terrestrial Ecosystems“, 14.—18. Juni 1992, Bad Dürkheim.
- Burdick, B. (1990): Ursachen und Ausmaß der anthropogenen Klimaänderung und deren Wirkungen auf die pflanzliche

- Produktion in Mitteleuropa am Beispiel des Winterweizenanbaus, Diplomarbeit, Institut für Allgemeinen Pflanzenbau der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn.
- Burdick, B. (1994): Klimaänderung und Landbau — Die Agrarwirtschaft als Täter und Opfer. Stiftung Ökologie und Landbau (Hrsg.), Verlag C. F. Müller, Heidelberg.
- Castro, M.; Melillo, J.; Steudler, P.; Peterjohn, B., Aber, J. und R. Bowden (1992): Methane Uptake by Temperate Forest Soils, Zusammenfassung des Vortrags im Tagungsband zur Atmospheric Methane Conference des National Institute for Global Environmental Change (NIGEC), 5.—10. Janua 1992 in Huntington Beach, Kalifornien/USA.
- Conrad, (1987): Präventive Umweltpolitik im Agrarsektor; Internat. Institut für Umwelt und Gesellschaft, Wissenschaftszentrum für Sozialforschung, Berlin.
- Crosson, P. (1986): Sustainable Food Production, Food Policy, 5/1986, 143—156.
- Crutzen, P. J.; Aselmann, I. und W. Seiler (1986): Methane Production by Domestic Animals, Wild Ruminants, Other Herbivorous Fauna, and Humans, Tellus, 38B, 271—284.
- Detwiler, R. P. und C. A. S. Hall (1988): Tropical forests and the Carbon Cycle. Science, 239, 42—47.
- Deutscher Bauernverband (1994): Landwirtschaft — Fundament einer nachhaltigen Entwicklung. Erklärung des Präsidiums des Deutschen Bauernverbandes vom 7. Juni 1994, Bonn.
- Deutscher Bundestag (1992 a): Antwort der Bundesregierung auf die Große Anfrage der SPD: Internationale Verschuldungskrise und wirtschaftliche Strukturanpassung in der Dritten Welt und in Osteuropa, Bundestagsdrucksache 12/3300, Bonn.
- Deutscher Bundestag (1992 b): Sitzung des Unterausschusses für „Welternährung, Weltlandwirtschaft, Weltforstwirtschaft“ zum Thema Außenschutz der EG. In: Heute im Bundestag, Bonn, 11. November 1992.
- Deutscher Bundestag (1993 a): Antwort der Bundesregierung auf die Große Anfrage der SPD: Umsetzung der flankierenden Maßnahmen der EG-Agrarreform in der Bundesrepublik Deutschland, Bundestagsdrucksache 12/5076, 3. Juni 1993.
- Deutscher Bundestag (1993 b): Welternährungslage. Schriftliche Stellungnahme des BML, Referat 717, zur Sitzung des Unterausschuß „Welternährung, Weltlandwirtschaft, Weltforstwirtschaft“ am 20. Juni 1993, Unterausschuß-Drucksache 12/67, Bonn.
- Deutscher Bundestag (1993 c): Antwort der Bundesregierung auf eine Kleine Anfrage der SPD: Abnahme der Agrarförderung in Entwicklungsländern, Bundestagsdrucksache 12/5303, Bonn, 29. Juni 1993.
- Deutscher Bundestag (1994 a): Antwort der Bundesregierung auf eine Anfrage der SPD-Fraktion zu Rindfleischexporten der EU nach Westafrika. Bundestags-Drucksache 12/6775, Bonn.
- Döhler, H. (1991 a): Ammoniak in der Umwelt, Staub-Reinhal tung der Luft, 51, 191—193.
- Döhler, H. (1991): Was können Landwirte tun? Maßnahmen zur Verminderung von Stickstoffemissionen, insbesondere Ammoniak, In: Massentierhaltung bedroht Wälder und Meere, Globus 6/91, BUND, 178—181.
- Döhler, H. (1992): Güllebehälter richtig abdecken; DLG-Mitteilungen, 5/1992, 58—60.
- Dudley, N. und S. Stolton (1992): Welternährung, Bodenreform und organische Landwirtschaft, In: Erde ist Leben, Stiftung Entwicklung und Frieden (Hrsg.), Bonn, 13—53.
- ECU (Environmental Change Unit) (1992): Climate Change and World Food Supply, Executive Summary, Oxford.
- EG-Kommission, (1991): Die zukünftige Entwicklung der GAP — Grundsatzpapier der Kommission; (Kom 100(91)), Brüssel.
- EG-Kommission (1993): Schriftliche Stellungnahme zur öffentlichen Anhörung der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ zum Thema „Maßnahmen und Handlungsempfehlungen zur Reduktion klimawirksamer Spurengasemissionen im Landwirtschaftsbereich“ am 5. Juli 1993, Kommissionsdrucksache 12/17 d, Deutscher Bundestag, Bonn.
- Egger, K. u. S. Rudolph (1992): Welthunger und ökologischer Landbau, In: Die Erde bewahren: Dimensionen einer umfassenden Ökologie, I. Lünzer (Hrsg.), Verlag C. F. Müller, Heidelberg, 201—215.
- EK (1990 a): Schutz der tropischen Wälder; Zweiter Bericht der Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“, Deutscher Bundestag (Hrsg.), Economica-Verlag, Bonn.
- EK (1990 b): Schutz der Erde; Dritter Bericht der Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“, Deutscher Bundestag (Hrsg.), Economica-Verlag, Bonn.
- EK (1992): Klimaänderung gefährdet globale Entwicklung; Erster Bericht der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“, Deutscher Bundestag (Hrsg.), Economica Verlag, Bonn.
- Esser, G. (1989): Zur ökologischen Wirkung von Klimaänderungen; Diskussionsgrundlagen zum nationalen Klimaimpakt-Programm, Fachbereich Biologie/Chemie, Universität Os nabrück.
- Esser, G. (1990): Schriftliche Stellungnahme zur öffentlichen Anhörung der Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ zum Thema „Treibhauseffekt III“ am 29./30. März 1990; Kommissionsdrucksache 11/125, Deutscher Bundestag, Bonn, 115—125.
- Esser, G. (1993): Schriftliche Stellungnahme zur nicht-öffentlichen Anhörung „CO₂-Düngeeffekt“ der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ am 29. März 1993, Deutscher Bundestag, Bonn, Kommissionsdrucksache 12/14-c, 3—6.
- Esser, G. (1994): Eingriffe der Landwirtschaft in den Kohlenstoffkreislauf; In: Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ (Hrsg.), Landwirtschaft, Studienprogramm, Economica-Verlag, Bonn.
- FAO (Food and Agriculture Organisation of the United Nations) (1990): Climate Change and Agriculture, Forestry and Fisheries, FAO Position Paper, Second World Climate Conference, 29. Oktober bis 7. November 1990, Genf.
- FAO (Food and Agriculture Organisation of the United Nations) (1991): Schriftliche Stellungnahme zur öffentlichen Anhörung „Landwirtschaft I“ der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ am 25./26. November 1991, Deutscher Bundestag, Bonn, Kommissionsdrucksache 12/1-b, 41—47.
- FAO (Food and Agriculture Organisation of the United Nations) (1992): The Forest Resources of the Tropical Zone by Main Ecological Regions; Forest Resources Assessment 1990 Project, United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, 1992.
- FAO (Food and Agricultural Organisation of the United Nations) (1993): Forest Resource Assessment 1990, Draft Final Report, Rom.
- FIP (Fördergemeinschaft Integrierter Pflanzenbau) (1991): Integrierter Pflanzenbau — Inhalte und Ziele; Bonn.
- FIP (Fördergemeinschaft Integrierter Pflanzenbau) (1993): Anbauorientierungen für den Integrierten Pflanzenbau; Bonn.

- Flaig, H. und H. Mohr (1993): Energie aus Biomasse — Eine Chance für die Landwirtschaft; Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Fleischhauer, E. (1993): Menschen schützen ihr Land — Bericht über die 7. Konferenz der Internationalen Organisation für Bodenkonservierung, Umwelt 1/93 (BMU (Hrsg.)), 25—27, Bonn.
- Flohn, H. (1980): Modelle der Klimaentwicklung im 21. Jahrhundert; In: Das Klima. Oeschger, H., Messerli, B. und M. Svilar (Hrsg.), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 3—17.
- Gallus, G. (1992): Antwort des Parlamentarischen Staatssekretärs G. Gallus vom 11. Mai 1992 auf eine Frage von V. Wohlleben; In: Bundestagsdrucksache 12/2606, Deutscher Bundestag, 29—31, Bonn.
- Ganzert, C. (1994): Umweltgerechte Landwirtschaft — Nachhaltige Wege für Europa; Economica-Verlag, Bonn.
- Geisler, G. (1980): Pflanzenbau, Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg.
- Geisler, G. (1983): Ertragsphysiologie von Kulturarten des gemäßigten Klimas, Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg.
- Germanwatch (1993): Rio konkret: Wir nehmen unsere Regierung beim Wort, Pressererklärung und Materialmappe zur Pressekonferenz am 26. Januar 1993, Bonn.
- Gottlieb, K. (1992): Handlungsinstrumente zum Grundwasserschutz für den Verursacherbereich Landwirtschaft, Materialien zum TAB-Arbeitsbericht Nr. 10, Büro für Technikfolgen-Abschätzung des Deutschen Bundestages (Hrsg.), Bonn.
- Graßl, H., W. Jahnen, K. Hinrichsen, G. Englisch u. S. Hendel (1991): Methanquellen in der industrialisierten Gesellschaft — Beispiel Bundesrepublik Deutschland, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Meteorologisches Institut der Universität Hamburg.
- Grünhage, L., K. Herm, K. Hanewald und H.-J. Jäger (1992): Auswirkungen von Ozon auf Pflanzen — Bewertung hessischer Ozonprofile; Hessische Landesanstalt für Umwelt, Heft 143, Wiesbaden.
- Haas, G. und U. Köpke (1994): Vergleich der Klimarelevanz Ökologischer und Konventioneller Landbewirtschaftung; In: Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ (Hrsg.), Landwirtschaft, Studienprogramm, Economica-Verlag, Bonn.
- Hadwiger-Fangmeier, A., A. Fangmeier und H.-J. Jäger (1992): Ammoniak in der bodennahen Atmosphäre — Emission, immission und Auswirkungen auf terrestrische Ökosysteme; Forschungsbericht Nr. 28 zum Forschungsprogramm des Landes Nordrhein-Westfalen „Luftverunreinigungen und Waldschäden“, Ministerium f. Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft (NRW) (Hrsg.), Düsseldorf.
- Hahn, J., J. Steinbrecher und R. Steinbrecher, (1994): Emission von Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffen aus der Landwirtschaft; In: Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ (Hrsg.), Landwirtschaft, Studienprogramm, Economica-Verlag, Bonn.
- Haider, K. (1992): Schriftliche Stellungnahme zur öffentlichen Anhörung „Landwirtschaft II“ der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ am 17./18. Februar 1992, Kommissionsdrucksache 12/5-b, 19—35, Deutscher Bundestag, Bonn.
- Haider, K. (1993): Auswirkungen zunehmender Temperaturen auf die organische Bodensubstanz mittlerer Breiten, Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 69, 239—246.
- Hampicke, U. (1987): Ökologische Vorgaben für die Agrarökonomie; Internat. Institut für Umwelt und Gesellschaft, Wissenschaftszentrum für Sozialforschung, Berlin.
- Hao, W. M.; Liu, M. H. und P. J. Crutzen (1989): Estimates of Annual and Regional Releases of CO₂ and Other Tracegases to the Atmosphere from Fires in the Tropics, based on the FAO Statistics for the Period 1975—1980; In: Arbeitsunterlage 11/342, Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“, Deutscher Bundestag, Bonn.
- Hartung, J. (1992): Emission und Kontrolle von Gasen und Geruchsstoffen aus Ställen und Dunglagern, Zbl. Hyg., 192, 389—418.
- Heck, W. W., A. S. Heagle u. D. S. Shriner (1988): Assessment of Crop Loss from Air Pollutants. Elsevier, London.
- Heinloth, K. (1992): Schreiben an die Mitglieder der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ vom 23. November 1992 mit Vorschlägen zu Umsetzungsstrategien, Bonn.
- Heinloth, K. (1993): Energie und Umwelt, Klimaverträgliche Nutzung von Energie; B. G. Teubner, Stuttgart und Verlag der Fachvereine, Zürich.
- Heyer, J. (1994): Methan; In: Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ (Hrsg.), Landwirtschaft, Studienprogramm, Economica-Verlag, Bonn.
- Heyland, K.-U. (1991): Integrierte Pflanzenproduktion — System und Organisation; Verlag E. Ulmer, Stuttgart.
- Hoffmann, G. M.; Nienhaus, F.; Schönbeck, F.; Weltzien, H. C. und H. Wilbert (1985): Lehrbuch der Phytomedizin, 2. Aufl., Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg.
- Houghton, R. A.; J. E. Hobbie, J. M. Melillo, B. Moore, B. J. Peterson, G. R. Shaver, G. M. Woodwell (1983): Changes in the Carboncontent of Terrestrial Biota and Soils between 1860 and 1980: A net Release of CO₂ to Atmosphere, Ecol. Monogr. 53, 235—262.
- IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movements) (1991): Basisrichtlinien der IFOAM für den ökologischen Landbau; SÖL-Sonderausgabe Nr. 16, Stiftung Ökologie und Landbau (Hrsg.), Bad Dürkheim.
- IMA-NR (Interministerielle Arbeitsgruppe — Nachwachsende Rohstoffe) (1993): Bericht über die Nutzung von Biomasse zur Erzeugung von Wärme und Strom, Bonn.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1990 a): Climate Change — The IPCC Scientific Assessment, University Press, Cambridge.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1990 b): Climate Change — The IPCC Impact Assessment, Cambridge.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1992): Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment, University Press, Cambridge.
- Isermann, K. (1994): Ammoniak; In: Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ (Hrsg.), Landwirtschaft, Studienprogramm, Economica-Verlag, Bonn.
- Johnson, D. E.; Hill, T. M.; Ward, G. M.; Johnson, K. A.; Branine, M. E.; Carmean, B. R.; Lodman, D. W. und J. Torrent (1991): Methane Emissions from Ruminants and Other Animals, NATO Advanced Research Workshops on the Atmospheric Methane Cycle.
- Karl, T. R., G. Kukla, V. N. Razavayev, M. J. Changery, R. G. Quayle, R. R. Heim, D. R. Easterling u. C. B. Fu (1991): Global Warming: Evidence for Asymmetric Diurnal Temperature Change. Geophys. Res. Lett., 18, 2253—2256.
- Kempkens, K. (1991): Verminderung der Ammoniakemissionen durch baulich-technische Maßnahmen; In: Emissionen von Ammoniak und Methan aus der Landwirtschaft in die Atmosphäre-Quellen und Vermeidungsmöglichkeiten; Schrif-

- tenreihe der Landwirtschaftskammer Rheinland, Heft 72, 43—52.
- Kiechle, I. (1989): Perspektiven und Zukunftsaufgaben der deutschen Landwirtschaft (Vortrag); In: Bulletin der Bundesregierung, Nr. 77, Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (Hrsg.), Bonn.
- Kimball, B. A. und S. B. Idso (1983): Increasing Atmospheric CO₂: Effects on Crop Yield, water Use and Climate. *Agr. Water Managem.*, 7, 55—72.
- Klapp, E. (1967): Lehrbuch des Acker- und Pflanzenbaus, 6. Aufl., Parey, Berlin, Hamburg.
- Krause, F., W. Bach u. J. Koomey (1992): Energiepolitik im Treibhauszeitalter — Maßnahmen zur Eindämmung der globalen Erwärmung, Verlag C. F. Müller, Karlsruhe, *Economica Verlag*, Bonn.
- Krebbes, H. (1992): Technik umweltgerechter Gülleausbringung auf Grünland; KTBL-Arbeitspapier Nr. 167, Darmstadt.
- Kreutzer, K. (1993): Bilanz aus zehn Jahren Waldschadensforschung: Immissionen atmosphärischer Stickstoff-Verbindungen aus Landwirtschaft und Verkehr — Ein fortbestehendes Problem nicht nur für Waldökosysteme, Presseerklärung zur Wissenschaftspressekonferenz am 5. Februar 1993, Bonn.
- Krupa, S. V. und R. N. Kickert (1993): The Greenhouse Effekt: the Impacts of Carbon Dioxide (CO₂), Ultraviolet-B (UV-B) Radiation and Ozone (O₃) on Vegetation (Crops), *Vegetatio*, 104/105, 223—238; In: CO₂ and Biosphere, Rozema, J. et al. (Hrsg.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.
- Krupa, S. V. und R. N. Kickert (1994): The Effects of Elevated Ultraviolet (UV)-B Radiation on Agricultural Production; In: Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ (Hrsg.), Landwirtschaft, Studienprogramm, *Economica-Verlag*, Bonn.
- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) (1987): Energie und Agrarwirtschaft; KTBL-Schrift 320, Darmstadt.
- Kühbauch, W. (1993): Intensität der Landnutzung im Wandel der Zeiten, *Die Geowissenschaften*, 11, (4), 121—129.
- Kuntze, F.-O. (1991): Der Stickstoffkreislauf in der Natur, speziell in Agrarökosystemen, In: Stoffeinträge aus der Landwirtschaft in die Atmosphäre-Strategien zur Minderung, DLG-Arbeitsunterlagen, 51—59.
- Larcher, W. (1973): Ökologie der Pflanzen, Eugen Ulmer-Verlag, Stuttgart.
- Lenz, F. (1991): CO₂-Effekte auf Pflanzen; In: Umweltkrise, M. G. Huber (Hrsg.), Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 55—66, Darmstadt.
- Leser, H. (1993): Nachhaltige Entwicklung und Kreislaufwirtschaft, *Deutsche Bauernkorrespondenz*, 3/93, 98 u. 103, Bonn.
- Lünzer, I. (1992 a): Energiebilanzen in der Landwirtschaft bei unterschiedlicher Wirtschaftsweise; In: Sinnvoller Umgang mit Energie auf dem Bauernhof, B. Lehmann und A. Gronauer (Hrsg.), Stiftung Ökologie und Landbau, 15—34.
- Lünzer, I. (1992 b): Rohstoff- und Energiebilanzen aus ökologischer Sicht; In: Ökologische Landwirtschaft, H. Vogtmann (Hrsg.), 2. Auflage, Karlsruhe, C. F. Müller, 277—301.
- Mengel, K. (1984): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze, 6. überarb. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Mohr, H. u. P. Schopfer (1978): Lehrbuch der Pflanzenphysiologie, 3. neubearb. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Morison, J. I. L. (1992): Schriftliche Stellungnahme zur öffentlichen Anhörung der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ zum Thema „Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Landwirtschaft“ am 17./18. Februar 1992, Kommissionsdrucksache 12/5-d, 79—83.
- Munack, A. (1993): Persönliche Stellungnahme, Schreiben an die Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ vom 24. Juni 1993.
- Neue, H. U. (1991): Schriftliche Stellungnahme zur öffentlichen Anhörung „Landwirtschaft I“ der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ am 25./26. November 1991, Deutscher Bundestag, Bonn, Kommissionsdrucksache 12/1-b, 7—21.
- Nicklis, M. (1991): Stickstoffeinsatz in der Landwirtschaft — Umweltwirkungen und umweltpolitische Maßnahmen, Europäische Hochschulschriften, Reihe V, Band 1189, Verlag Peter Lang, Frankfurt/Main, Bern, New York, Paris.
- Nischwitz, G. (1994): Sozioökonomische, ökologische und rechtliche Rahmenbedingungen für die Veredlungswirtschaft in den neunziger Jahren; Institut für Strukturforschung und Planung in agrarischen Intensivgebieten (ISPA), Universität Osnabrück, Vechta.
- OECD (Organisation for Economic Co-Operation) (1993): OECD in Figures 1993; In: The OECD Observer No. 182.
- Ökologische Briefe (1994): Auf dem Weg zu einer internationalen Wüstenkonvention; *Ökologische Briefe* 3/94, 6—7.
- Parry, M. L. (1990): Climate Change and World Agriculture, Earthscan Publications Limited, London.
- Pessara, H., J. Oldenburg, L. Thölking und K.-V. Brenner (1992): Läßt sich die Ammoniakemission senken? Eiweißreduzierung im Schweinefutter. *DGS* 5/92, 144—146.
- Pommer, G. (1992): Welche Leistungen erbringt der Integrierte Pflanzenbau für die Umwelt? *Mitt. Dtsch. Pfl. Bau. Wiss. Ges.*, 5, 71—74.
- Poorter, H. (1993): Interspecific Variation in the Growth Response of Plants to an Elevated ambient CO₂ Concentration; *Vegetatio*, 104/105, 77—97; In: Rozema, J. et al., (Hrsg.), CO₂ and Biosphere, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.
- Potthast, V. (1991): Verminderung der Ammoniakemissionen durch Fütterungsmaßnahmen, In: Emissionen von Ammoniak und Methan aus der Landwirtschaft in die Atmosphäre — Quellen und Vermeidungsmöglichkeiten; Schriftenreihe der Landwirtschaftskammer Rheinland, Heft 72, 18—32.
- Priebe, H. (1992): Neuorientierung der gemeinsamen Agrarpolitik, *Recht der Landwirtschaft*, 44, 1992.
- Priebe, H. (1994): Agrarpolitik und Klimaveränderungen; In: Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ (Hrsg.), Landwirtschaft, Studienprogramm, *Economica-Verlag*, Bonn.
- Rau, W. und H. Hofmann (1989): Die Wirkung von UV-B auf die photoperiodische Steuerung der Blütenbildung, Laufener Seminarbeiträge 3/88, *Akad.-Natursch. Landschaftspfl.* (ANL), Laufen, Salzach, 53—61.
- Rennenberg, H. (1994): Gasförmige Schwefelverbindungen; In: Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ (Hrsg.), Landwirtschaft, Studienprogramm, *Economica-Verlag*, Bonn.
- Rogers, H. H.; G. B. Runion und S. V. Krupa (1994): Plant Responses to CO₂ Enrichment with Emphasis on Roots and Rhizosphere, *Environmental Pollution*, 83, 155—189.
- Rogers, H. H.; Idso, S. B.; Allen, L. H.; Miller, J. E.; Kimball, B. A.; Rawlins, S. L. und R. C. Dahlman (1992): Schriftliche Stellungnahme zur öffentlichen Anhörung der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ zum Thema „Auswirkungen

- von Klimaänderungen auf die Landwirtschaft" am 17./18. Februar 1992, Kommissionsdrucksache 12/5-d, 72—76.
- Rosenzweig, C. und M. L. Parry (1994): Potential Impact of Climate Change on World Food Supply; *Nature*, 367, 133—138.
- Roth, R. (1989): Klimaänderungen und ihre Wechselwirkungen mit den Landoberflächen. In: Konferenzbericht zum Statusseminar des BMFT-Klimaforschungsprogramms, GSF (Hrsg.), München, 143—149.
- Rotty, R. M. (1987): Estimates of Seasonal Variation in Fossil Fuel CO₂ Emissions. *Tellus* 39B, 184—202.
- Santer, B. (1984): Direct Impacts of a CO₂-Induced Climatic Change on Selected Economic Sectors, Impacts on the Agricultural Sector / Case Study: The Impacts of a CO₂-Induced Climatic Change on the Agricultural Sector of the European Communities; In: Meinl, H. und W. Bach, 1984: Socioeconomic Impacts of Climatic Changes due to a Doubling of Atmospheric CO₂ Content, Commission of the European Communities, DFLR, Brüssel, Köln, 260—370 / 456—592.
- Sauerbeck, D. (1992): Schriftliche Stellungnahme zur öffentlichen Anhörung „Landwirtschaft II“ der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ am 17./18. Februar 1992, Deutscher Bundestag, Bonn, Kommissionsdrucksache 12/5-a, 82—94.
- Sauerbeck, D. u. H. Brunnert (1990): Klimaveränderungen und Landbewirtschaftung, Teil I, Landbauforschung Völknerode, Sonderheft 117, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig.
- Sauerbeck, D. R. u. K. Haider, (1991): Stellungnahme zur öffentlichen Anhörung „Landwirtschaft I“ der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ am 25./26. November 1991, Kommissionsdrucksache 12/1-a, 268—335.
- Scheele, M. und G. Schmitt (1993): Schriftliche Stellungnahme zur öffentlichen Anhörung der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ zum Thema „Maßnahmen und Handlungsempfehlungen zur Reduktion klimawirksamer Spurengasemissionen im Landwirtschaftsbereich“ am 5. Juli 1993, Kommissionsdrucksache 12/17 b, Deutscher Bundestag, Bonn.
- Scheffer P. und P. Schachtschabel (1989): Schachtschabel, P., H.-P. Blume, G. Brümmer, K.-H. Hartge u. U. Schwertmann, Lehrbuch der Bodenkunde, 12. neu bearb. Auflage, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- Schlesinger, W. H. (1990): Evidence from Chronosequence Studies for a Low Carbon-Storage Potential of Soils. *Nature*, 348, 232—234.
- Schmid, J. (1993), Weltbevölkerung und Bevölkerungspolitik in Entwicklungsländern; In: Unterausschuß-Drucksache 12/61 vom 3. März 1993 des Unterausschuß „Welternährung-Weltlandwirtschaft-Weltforstwirtschaft“ des Deutschen Bundestages, Bonn.
- Schmitt, G. (1989): Zum Wandel der Betriebsgrößenstruktur in der Landwirtschaft der BR Deutschland; *Agrarwirtschaft*, 10, (38), 294—304.
- Schug, W. (1993): Täglich Brot für alle-Nahrung für 11 Milliarden Menschen, Deutsches Institut für Fernstudien an der Universität Tübingen, Funkkolleg Humanökologie, Studienbrief 11, 11—48.
- Schumacher, H. (1993): Modellhafte Überlegungen zu potentiellen Auswirkungen der sich verändernden Klimabedingungen auf die Weltversorgungslage mit Nahrungsmitteln, Dissertation am Institut für Agrarpolitik, Marktforschung und Wirtschaftssoziologie der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn.
- Seckmeyer, G. und R. L. MacKenzie (1993): Increased Ultraviolet-Radiation in New Zealand (45-Degrees-S) relative to Germany (48-Degrees-N). *Nature*, 359, 135—137.
- Seckmeyer, G. (1994): Veränderung der UV-B-Strahlung; In: Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ (Hrsg.), Landwirtschaft, Studienprogramm, Economica-Verlag, Bonn.
- Simm, M. (1993): Giftige Bohnen — Wie UV-Strahlen Pflanzen manipulieren, *Bild der Wissenschaft*, 2/1993, 58—61.
- Sluijmans, C. M. J. und G. J. Kolenbrander (1977): The Significance of Animal Manure as a Source of Nitrogen in Soils; In: Proceedings of the International Seminar on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture, Society of the Soil and Manure (Hrsg.), 403—411, Tokio.
- Smukalski, M.; Rogasik, J. und K.-J. Künkel (1992): Landbau und Treibhauseffekt — CO₂-Umsatz bei unterschiedlicher Intensität der Landbewirtschaftung; *Landbauforschung Völknerode*, 42, (2), 55—61.
- SÖL (1994): Entwicklung des ökologischen Landbaus. *Ökologie und Landbau*, 90, (22), 75.
- Spiekers, H. (1992): Die Kühe und der saure Regen. *Top-Agrar* 6/92, 22—25.
- SRU (Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen) (1985): Umweltprobleme der Landwirtschaft, Sondergutachten März 1985, Verlag Kohlhammer, Stuttgart, Mainz.
- SRU (Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen) (1992): Umweltprobleme der Landwirtschaft — Sachbuch Ökologie, Metzler-Poeschel, Stuttgart.
- SRU (Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen) (1994): Für eine dauerhaft-umweltgerechte Entwicklung — Umweltgutachten 1994 des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen, Bundestagsdrucksache 12/6995, Deutscher Bundestag, Bonn.
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (1992 a): Statistisches Jahrbuch 1992 für die Bundesrepublik Deutschland, Verlag Metzler-Poeschel, Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (1992 b): Statistisches Jahrbuch 1992 für das Ausland, Verlag Metzler-Poeschel, Wiesbaden.
- TAB (Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag) (1993 a): Vorsorgestrategien zum Grundwasserschutz für den Bereich Landwirtschaft, TAB-Arbeitsbericht Nr. 17 — Teilbericht I (Langfassung), Büro für Technikfolgenabschätzung (Hrsg.), Bonn.
- TAB (Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag) (1993 b): Entwicklungsperspektiven der Wasserwirtschaft, TAB-Arbeitsbericht Nr. 17-Zusammenfassender Endbericht, Büro für Technikfolgenabschätzung (Hrsg.), Bonn.
- Teramura, A. H. und M. M. Caldwell (1981): Effects of Ultraviolet-B Irradiances on Soybean. IV. Leaf Ontogeny as a Factor in Evaluating Ultraviolet-B-Irradiance Effects on Net Photosynthesis. *Am. J. Bot.*, 68, 934—941.
- Teramura, A. H., R. H. Biggs und L. H. Ziska (1990): Interaction of Elevated Ultraviolet-B-Radiation and CO₂ on Productivity and Photosynthetic Characteristics in Wheat, Rice and soybean. *Plant Physiol.*, 94, 470—475.
- Tevini, M. (1989): UV-Wirkungen auf Nutzpflanzen, Laufener Seminarbeiträge 3/88, Akad.-Natursch. Landschaftspf. (ANL), Laufen, Salzach, 38—52.
- Tevini, M. (1992): Global Change-Forschung konkret — Erhöhte UV-B-Strahlung: Ein Risiko für Pflanzen, *Global Change Prisma*, 12/1992, 4, (4), 4—6.
- UBA (Umweltbundesamt) (1993 a): Schriftliche Stellungnahme zur öffentlichen Anhörung der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ zum Thema „Maßnahmen und Handlungsempfehlungen zur Reduktion klimawirksamer Spurengasemissionen im Landwirtschaftsbereich“ am 5. Juli 1993,

- Kommissionsdrucksache 12/17 c, Deutscher Bundestag, Bonn.
- UBA (Umweltbundesamt) (1993 b): Umweltdaten-kurzgefaßt; Umweltbundesamt (Hrsg.), Berlin.
- UBA (Umweltbundesamt) (1994): Stoffliche Belastung der Gewässer durch die Landwirtschaft und Maßnahmen zu ihrer Verringerung; Berichte 2/94, Umweltbundesamt (Hrsg.), Erich Schmidt-Verlag, Berlin.
- UNEP (United Nations Environment Programme) (1991): A new Assessment of the World Status of Desertification, In: Desertification Control Bulletin 20/91, 6—18.
- WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen) (1994): Welt im Wandel: Grundstruktur globaler Mensch-Umwelt-Beziehungen, Jahresgutachten 1993; Bundestagsdrucksache 12/7144, Deutscher Bundestag, Bonn.
- Weber, A. (1979): Langfristige Energiebilanz in der Landwirtschaft; Schriftenreihe des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Reihe A, Heft 221, Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup.
- Weber, A. (1988): Perspektiven der Welternährung angesichts einer wachsenden Weltbevölkerung, Hauswirtschaft. Wiss., 36, (4), 175.
- Weinschenck, G. (1987): Alternativen der Landbewirtschaftung und Konsequenzen für den ländlichen Raum, In: Zukunftsperspektiven der deutschen Landwirtschaft im nächsten Jahrzehnt — Problemdruck und Lösungsansätze; Vorträge der öffentlichen Arbeitstagung am 28. April 1987 in Bonn; Forschungsgesellschaft für Agrarpolitik und Agrarsoziologie.
- Weinschenck, G., (1991): Ökologische Chance durch Scheitern von GATT-Verhandlungen, Agrarwirtschaft, 40, (1), 1—2.
- Wellmann, E. (1989): Lichtabhängige Schutzmechanismen gegen UV-B-Schäden bei Pflanzen, Laufener Seminarbeiträge 3/88, Akad.-Natursch. Landschaftspfl. (ANL), Laufen, Salzach, 86—91.
- Wintzer D., B. Fűrniß, S. Klein-Vielhauer, L. Leible, E. Nieke, C. Rösch, H. Tangen (1992): Zusammenfassung der Ergebnisse der TA-Studie „Nachwachsende Rohstoffe“; KFK-Nachrichten 4/92, (24), 245—253.
- Woodward, F. I., (1987): Stomatal Numbers are Sensitive to Increases in CO₂ from Pre-Industrial Levels. Nature, 327, 617—618.
- WWI (Worldwatch Institute) (1991): State of the World 1991, W. W. Norton, New York, London.
- Zeddies, J., C. Fuchs, W. Gamer, H. Schüle und B. Zimmermann (1994): Verteilungswirkungen der künftigen EU-Agrarpolitik nach der Agrarreform unter besonderer Berücksichtigung der direkten Einkommentransfers — dargestellt auf der Grundlage von Buchführungsergebnissen und Betriebsbefragungen. Schriftenreihe der Landwirtschaftlichen Rentenbank/Frankfurt am Main, Band 8, 97—143.
- Zellner, R. (1993): Ozonabbau in der Stratosphäre; Chemie in unserer Zeit, 5/93, (27), 230—236.

Abschnitt C — Klimaänderung und Wälder

Zusammenfassung und zentrale Empfehlungen

Situationsanalyse

Die Waldökosysteme sind Teil der gemeinsamen unverzichtbaren Lebensgrundlage der Menschheit. Sie sind von unersetzlicher Bedeutung

- für die Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen, einschließlich Schutz des Klimas und Erhaltung der biologischen Vielfalt,
- für die ökonomische, ökologische und soziale Entwicklung der Staaten,
- als potentiell unerschöpfliche Quelle lebenswichtiger Rohstoffe und genetischer Ressourcen für den menschlichen Bedarf,
- als Lebensraum insbesondere für indigene Gesellschaften,
- für die Erhaltung der ländlichen Räume und die Sicherheit und Erweiterung der Erwerbsmöglichkeiten ihrer Bevölkerung,
- für die Befriedigung sozialer und kultureller Bedürfnisse der Menschen.

Sie haben darüber hinaus einen hohen Eigenwert, den es zu respektieren und aus ethischen Gründen zu erhalten gilt.

Der vielfältige Nutzen, den der Mensch aus den Wäldern zieht, wurde und wird häufig unterschätzt. Diese Fehleinschätzung fördert die fortschreitende Entwaldung sowie unangepaßte und daher degradierende Nutzungsformen und andere Belastungen, die zu einer Destabilisierung der Waldökosysteme führen. Ausmaß, Ursachen und Formen der Walddegradation und -vernichtung hängen dabei von den regionalspezifischen sozialen, wirtschaftlichen und ökologischen Rahmenbedingungen ab und sollen im folgenden entsprechend differenziert skizziert werden (vgl. Kap. 2 bis 4).

Bestand und Gefährdung der Wälder in den gemäßigten Breiten

Die temperierten, sommergrünen Laub- und Laubmischwälder in den gemäßigten Breiten sind am stärksten vom Menschen geprägt. Natürliche Bestände kommen nur noch vereinzelt auf kleinen Flächen vor. Jährlich werden etwa 2,5 % der Waldfläche eingeschlagen. Dies geschieht zumeist im Rahmen einer geregelten Bewirtschaftung ohne Waldverluste. Der starke anthropogene Einfluß hat jedoch zur großflächigen Ausbreitung von Altersklassenwäldern und Reinbeständen geführt, die zwar vergleichsweise rationell zu nutzen, jedoch ökologisch instabil und

daher häufig mit hohem ökonomischen Risiko behaftet sind.

Die Waldfläche in der gemäßigten Zone nimmt zur Zeit tendenziell zu. In vielen Regionen sind die Waldökosysteme jedoch durch Stoffeinträge, insbesondere Schwefeldioxid (SO₂), Stickstoffoxide (NO_x), Ammoniak (NH₃) und Ozon (O₃) belastet, die vor allem aus dem Energiebereich, dem Verkehrssektor und der Intensivlandwirtschaft stammen. Im Zusammenspiel mit anderen Faktoren, zum Beispiel klimatischen Einflüssen, Schädlingskalamitäten und Krankheitsbefall (oftmals aufgrund von Vorschädigungen), schädigt der seit Jahrzehnten andauernde Stoffeintrag die Pflanzen und Böden. Im westlichen Europa sind vor allem der hohe Stickstoffeintrag und die im Sommer auftretenden hohen bodennahen Ozonkonzentrationen von Bedeutung. Im östlichen Europa werden Waldschäden dagegen vor allem durch die Schwefeldioxidimmissionen hervorgerufen. In der Bundesrepublik Deutschland weisen 40 % der Waldflächen leichte und 24 % deutliche Schäden auf. In den Staaten der Europäischen Union sind insgesamt 34 % der Waldflächen leicht und 24 % deutlich geschädigt (vgl. Kap. 3). Die vorgeschädigten Waldbestände fallen vermehrt klimatischen Extremereignissen, vor allem Stürmen und Naßschneefall, zum Opfer. Ein weiteres Problem für die Wälder sind in einigen Regionen Europas die starken Wildverbisschäden, die die natürliche Verjüngung behindern.

Bestand und Gefährdung der Wälder der kaltgemäßigten Breiten

Die als boreal bezeichneten Wälder der kaltgemäßigten nördlichen Breiten (ca. 50 bis 70° nördliche Breite) unterliegen einem zunehmenden und häufig ineffizienten Holzeinschlag, der regional erhebliche Übernutzungen und Degradationserscheinungen hervorruft. Zudem nimmt die von Bränden befallene Waldfläche zu. Die aktuelle Entwicklung der Waldbestände kann auf der verfügbaren Datenbasis nur mit Unsicherheiten abgeschätzt werden. Die nichtbestockte Waldfläche hat sich innerhalb der vergangenen Jahrzehnte erheblich vergrößert und umfaßt heute etwa 150 Mio. ha. Nur etwa ein Viertel davon sind vorübergehende Kahlflächen nach Holzeinschlag und Bränden. Der größte Teil wird, vor allem in der ehemaligen Sowjetunion, mangels Wiederaufforstung und aufgrund von Bodenschädigungen langfristig unbestockt bleiben. Darüber hinaus sind dort großflächige Degradationserscheinungen als Folge der immensen Schadstoffbelastung zu beobachten.

Ungeachtet dieser großflächigen Devastierungen wird geschätzt, daß die Wälder und Moore der borealen Zone zur Zeit netto eine Kohlenstoffs Senke darstellen. In Anbetracht des schlechten Waldzustandes, insbesondere in der ehemaligen Sowjetunion, dürfte die Nettoaufnahme 0,3 bis 0,5 Mrd. tC/Jahr nicht überschreiten.

Bestand und Gefährdung der tropischen Wälder

In den Tropen führen in erster Linie die Ausweitung landwirtschaftlicher Nutzflächen und der nicht nachhaltige Holzeinschlag sowie des weiteren die industrielle Erschließung (z. B. Abbau von Bodenschätzen) zur fortschreitenden Vernichtung von Primärwäldern. Der Verlust betrug in den 80er Jahren durchschnittlich 15,4 Mio. ha pro Jahr, das sind etwa 0,8 % der Waldfläche in den Tropen. Hält diese Entwicklung an, so wird bis zur Mitte des nächsten Jahrhunderts die Hälfte der heute vorhandenen Tropenwälder vernichtet sein. Degradation und Waldvernichtung rufen gravierende ökologische Schäden hervor, zum Beispiel die Ausrottung einer Vielzahl von Tier- und Pflanzenarten, Bodenerosion, regionale Klimaänderungen etc. Diese Schäden verschlechtern die Lebensbedingungen der lokalen Bevölkerung und vermindern so den sozialen und wirtschaftlichen Nutzen. Darüber hinaus führt die fortschreitende Vernichtung tropischer Wälder zur Freisetzung von 1 bis 2 Mrd. tC pro Jahr. Sie ist damit für etwa 10 bis 20 % des anthropogenen Treibhauseffektes verantwortlich.

Künftige Gefährdungspotentiale

Die wachsende Bevölkerung und die steigende Nachfrage nach Holz und vor allem kurzlebigen Holzprodukten wird in absehbarer Zeit zu einer Ausweitung der anthropogenen Eingriffe in die Wälder führen. Das heutige Ausmaß der Waldvernichtung und -degradation droht sich entsprechend auszuweiten. Dieser direkte menschliche Einfluß wird vorerst die weltweite Waldfläche und den Zustand der Wälder bestimmen. Bei Anhalten des derzeitigen Trends werden sich zudem die anthropogen verursachten Klimaänderungen mehr und mehr auf den Zustand der Waldökosysteme auswirken. Aufgrund der Schnelligkeit, mit der die prognostizierten Veränderungen eintreten werden — sowie der voraussichtlich wesentlich häufigeren klimatischen Extremereignisse — ist damit zu rechnen, daß Wälder großflächig absterben bzw. degradieren. Gegenwärtig als CO₂-Senke wirkende Wälder drohen im Zuge der Klimaänderung zu Nettokohlenstoffquellen zu werden und so den anthropogenen Treibhauseffekt zu verstärken. Insgesamt ist damit zu rechnen, daß die heute bereits durch Waldvernichtung freigesetzte biogene Kohlenstoffmenge (1 bis 2 Mrd. tC pro Jahr) in Zukunft erheblich ansteigen und sogar einen Wert annehmen könnte, der mit den heutigen CO₂-Emissionen durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe (6 bis 7 Mrd. tC pro Jahr) vergleichbar ist.

Handlungsempfehlungen der Enquete-Kommission

Die Enquete-Kommission sieht in der globalen Gefährdung der Wälder ein Symptom für den nicht nachhaltigen Umgang der Menschheit mit natürlichen Ressourcen. Der Schutz und die nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder ist vor diesem Hintergrund nur durch eine weit über den Forstbereich hinausgehende Strategie zu erreichen. Dabei sieht die Kommission in den verschiedenen Klimazonen die folgenden Handlungsfelder als vordringlich an.

Temperierte Wälder

In den Ländern der gemäßigten Breiten ist die drastische Reduzierung des Stoffeintrags die wichtigste Aufgabe zum Schutz der Wälder. Auf der internationalen Ebene mißt die Enquete-Kommission dabei der Verschärfung und Erweiterung der Protokolle der Genfer Luftreinhaltekonvention eine zentrale Bedeutung bei und schlägt die folgenden Maßnahmen vor.

— Die vorhandenen Protokolle zur Verminderung der grenzüberschreitenden Schwefeldioxid- bzw. Stickstoffoxidemissionen sowie das Protokoll zur Verminderung der Emission flüchtiger Kohlenwasserstoffverbindungen (VOC) sind möglichst umgehend zu verschärfen. Ziel muß dabei die flächendeckende Verminderung des Stoffeintrags unter das Niveau der von den Wäldern verkraftbaren Mengen (kritische Belastung) sein. Besonders groß ist der Handlungsbedarf bei der Reduzierung der Stickoxidemissionen. Diese müßten beispielsweise in der Bundesrepublik Deutschland innerhalb der kommenden 20 Jahre um etwa 55 bis 60 %, langfristig (20 bis 40 Jahre) um 80 % vermindert werden, um die Wälder wirksam vor Schäden zu schützen. Die Freisetzung von VOC müßte bis zum Jahr 2005 gegenüber 1987 um 80 % vermindert werden.

— Zusätzlich zu den bereits bestehenden Vereinbarungen ist ein Protokoll zur Verminderung der Ammoniak-Emissionen zu verabschieden. Die anzustrebende Reduktionsrate sollte dabei zumindest in der gleichen Größenordnung liegen wie bei den Stickstoffoxiden.

Auf der nationalen Ebene sind zur Verminderung waldschädigender Stoffeinträge die Ammoniak-Emissionen in der Landwirtschaft¹⁾ und vor allem die NO_x-Emissionen im Verkehrsbereich — über die bereits beschlossene Ausstattung von Neuwagen mit Katalysatoren und die Verminderung des Gehaltes von Kohlenwasserstoffen in Kraftstoffen hinaus — abzusenken. Der Verkehrsbereich ist etwa für zwei Drittel der NO_x-Emission verantwortlich. Dabei sind

¹⁾ Die zur Senkung der Ammoniak-Emissionen (NH₃) notwendigen Maßnahmen sind im Teil Landwirtschaft (Abschnitt B, Kap. 4.4) beschrieben.

kurzfristig die folgenden Maßnahmen von zentraler Bedeutung²⁾:

- Maßnahmen zur Verkehrsvermeidung.
- Verkehrsverlagerung von der Straße auf die Schiene
- Verbesserung der Verkehrstechnik (vor allem zur Reduzierung des Treibstoffverbrauchs)
- Konsequenter Ausbau des öffentlichen Verkehrs
- Erhöhung der Mineralölsteuer oder Einführung einer emissionsbezogenen Kraftfahrzeugsteuer oder die Umlegung der Kraftfahrzeugsteuer auf die Mineralölsteuer,
- verursachergerechte Anlastung der durch den Verkehr entstehenden externen Kosten (Umweltschäden, soziale Kosten, Wegekosten).

Langfristig, das heißt über Jahrzehnte, muß jedoch jeglicher motorisierte Verkehr auf Technologien umgestellt werden, bei denen die Emission von direkt und indirekt klimawirksamen bzw. waldschädigenden Gasen weitestgehend — nach Möglichkeit sogar vollständig — vermieden werden kann. Dafür müssen bereits jetzt die Weichen in der Verkehrs- und Forschungspolitik gestellt werden.

Darüber hinaus sind auch im Energiebereich, der etwa ein Drittel der NO_x-Emissionen freisetzt, Maßnahmen zu ergreifen, so vor allem

- die rasche Umsetzung der Immissionsschutzregelungen in den neuen Ländern,
- die Einführung einer CO₂/Energiesteuer sowie
- Maßnahmen zur Effizienzsteigerung im Kraftwerksbereich³⁾.

Durch die Resolutionen der Ministerkonferenz zum Schutz der Wälder haben die Staaten Europas eine Vorreiterrolle bei der Umsetzung von nachhaltigen Bewirtschaftungsmethoden auf der internationalen Ebene übernommen und sind gehalten, die Beschlüsse zügig in die eigenen Forstgesetze und die Forstpraxis umzusetzen. Die Bewirtschaftung der Wälder sollte sich künftig am Leitbild der naturgemäßen Waldwirtschaft orientieren und so durchgeführt werden,

- daß ihre ökologische Stabilität auch unter sich verändernden Umweltbedingungen (z. B. Klimaänderung) gewährleistet und
- die Erhaltung der biologischen Vielfalt sichergestellt ist,
- daß sie einen hohen Gehalt an — in der Biomasse und den Böden gespeicherten — Kohlenstoff dauerhaft aufweisen.

²⁾ Ein umfassendes Bündel von emissionsmindernden Maßnahmen im Verkehrsbereich hat die Enquete-Kommission in ihrem zweiten Bericht „Mobilität und Klima“ vorgeschlagen.

³⁾ Ein umfassendes Paket von emissionsmindernden Maßnahmen im Energiebereich wird die Enquete-Kommission in ihrem in Kürze erscheinenden Bericht zum Thema „Energie und Klima“ vorlegen.

Darüber hinaus sind auch in Mitteleuropa, das nahezu keine Primärwälder mehr aufweist, der natürlichen Entwicklung von Wäldern Möglichkeiten einzuräumen. Auf den bewirtschafteten Flächen sind die heute vorherrschenden schlagreifen Alterklassenwälder in Dauerwälder aus standortgerechten, einheimischen Mischwäldern umzugestalten. Eingriffe des Menschen sollen durch die Bevorzugung von Einzelstammeinschlag und Naturverjüngung sowie den Verzicht auf Pestizide und Düngemittel auf ein notwendiges Minimum beschränkt werden. Als eine der Voraussetzungen für eine naturgemäße Waldwirtschaft sind vor allem in Teilen der Bundesrepublik die überhöhten Wilddichten auf ein waldverträgliches Maß zurückzuführen.

Boreale Wälder

Im Zentrum der Initiativen zum Schutz der borealen Wälder muß eine erhebliche Intensivierung der umweltpolitischen und forstpolitischen Zusammenarbeit der westlichen Industriestaaten mit den Staaten der ehemaligen Sowjetunion stehen. Dabei ist vor allem die Verminderung der industriellen Emissionen und die drastische Verringerung der Holzverluste beim Einschlag, beim Transport und bei der Verarbeitung zu gewährleisten. Die Enquete-Kommission erwartet von der Bundesregierung, daß sie sich im Rahmen ihrer bilateralen Kooperation mit den Staaten der GUS sowie in der KSZE für das Zustandekommen eines entsprechenden Kooperationsabkommen einsetzt.

Zum Schutz der nordamerikanischen borealen Wälder sieht die Enquete-Kommission in der Anpassung bereits bestehender Einschlagskonzessionen an die in jüngster Zeit verabschiedeten Bestimmungen für einen umweltschonenderen Holzeinschlag ein wesentliches Instrument zum Schutz der Wälder. Darüber hinaus erachtet sie ein Konzept für den weitestgehenden Schutz der noch bestehenden einzigartigen Regenurwälder entlang der Pazifikküste sowie die Konzentration des Einschlags auf die Sekundärwaldfläche für erforderlich. Soweit Einschläge in die Regenurwälder erfolgen, müssen diese die Kriterien einer nachhaltigen Bewirtschaftung strikt beachten und umweltschonende Einschlagmethoden angewendet werden.

Tropenwälder

Die Enquete-Kommission wertet die in den letzten Jahren ergriffenen Initiativen zum Schutz der Tropenwälder als Ansätze, die in wesentlichen Teilen Korrekturen und Ergänzungen bedürfen. Die Kommission fordert die Bundesregierung und die Europäische Union auf, sich auf internationaler Ebene dafür einzusetzen, daß

- den Tropenwaldländern über den GEF wesentlich mehr Finanzmittel für den Schutz ihrer Wälder und zur drastischen Ausweitung von Aufforstungen — auch zur Verbesserung der Brennholzversorgung — zur Verfügung gestellt werden; dabei sind

Kontrollmöglichkeiten zu schaffen, die die sachgerechte Verwendung der Finanzmittel sicherstellen;

- die im Rahmen des Tropenforstaktionsprogrammes erstellten nationalen Pläne in Tropenwaldschutzpläne umgewandelt werden.

Weitere wesentliche Punkte sind die Aufnahme verbindlicher Maßnahmen zum Schutz und zur Förderung nachhaltiger Bewirtschaftungsmethoden in das neue Tropenholzabkommen. Die Enquete-Kommission legt dem Deutschen Bundestag nahe, die Ratifizierung des Abkommens von einer entsprechenden Erweiterung abhängig machen. In diesem Zusammenhang befürwortet die Enquete-Kommission nachdrücklich die Einführung eines Labels für nachhaltig erzeugte Tropenhölzer. Diesem müssen jedoch verbindliche Kriterien und nachprüfbare Indikatoren zugrunde liegen. Insbesondere muß die Einführung des Labels dazu dienen, die Einschläge in Primärwälder zu vermindern, den ökologischen Erfordernissen Rechnung zu tragen und die Bedürfnisse der lokalen Bevölkerung bei der Waldnutzungsplanung voll zu berücksichtigen.

Zur Verbesserung der Rahmenbedingungen hält die Enquete-Kommission Schuldenerlaß und -erleichterungen für Tropenwaldländer über das bisherige Maß hinaus für erforderlich. Sie fordert die Bundesregierung auf, sich auf internationaler Ebene für weitergehende Schuldenerleichterungen einzusetzen und selber weitere Entschuldungsmaßnahmen — insbesondere für Länder, die den Schutz der Umwelt und speziell der Wälder zu einem Schwerpunkt ihrer Politik gemacht haben — durchzuführen. Dabei sollen auch die im Rahmen von Hermes-Bürgschaften gewährten Kredite berücksichtigt werden. Daneben ist auf eine Verstärkung der Eigenleistung der Schuldnerländer hinzuwirken, zum Beispiel auf eine drastische Reduzierung der Militärausgaben.

Umwelt- und klimaverträgliche Holzverwendung

Die Enquete-Kommission sieht in der sparsamen und effizienten Holzverwendung eine bedeutende Aufgaben der nationalen und internationalen Waldschutzpolitik. Vor allem in den Industrieländer ist es erforderlich, die Verwendung von Holz stärker auf den Bereich der langlebigen Produkte (z. B. Möbel, Bauelemente) zu verlagern. Kurzlebige, häufig für den einmaligen Gebrauch bestimmte Produkte aus Holz sollen dagegen soweit wie möglich und ökologisch sinnvoll auf Recyclingbasis erzeugt werden. Für die nationale Ebene empfiehlt die Enquete-Kommission eine Anhebung des Altpapiereinsatzes auf mindestens 60 %. Dazu ist die Verabschiedung einer Altpapierverordnung erforderlich, mit der die notwendigen Rahmenbedingungen (z. B. an der Wiederverwertbarkeit orientierte Qualitätsstandards von Papierprodukten, Maßnahmen zur Förderung des Marktes für Recyclingprodukte etc.) gesetzt werden.

Zur Förderung des Absatzes umweltfreundlicher Holzprodukte schlägt die Enquete-Kommission die Einrichtung von Modellprojekten zur Erhöhung der

nationalen Zellstoffproduktion mit hohen Umweltstandards auf der Basis von in der Region erzeugten Hölzern aus nachhaltiger Bewirtschaftung vor. Außerdem sieht sie in einer Überprüfung baurechtlicher Bestimmungen hinsichtlich einer Ausweitung der Verwendung von Holzbauteilen Möglichkeiten, die umwelt- und klimafreundliche Verwendung von Holz zu fördern.

Die energetische Nutzung von Holz und Holzresten ist in einigen Industrieländern bereits seit längerem ein wichtiger Bestandteil der Energieversorgung. In Deutschland spielt Holz als Energiequelle praktisch keine Rolle. Die Enquete-Kommission erachtet die Substitution fossiler Energiequellen durch Holz als eine wichtige Aufgabe zur Verminderung der CO₂-Emissionen. Sie schätzt das energetische Potential von Holz und Holzabfällen in der Bundesrepublik auf insgesamt etwa 140 PJ (das entspricht rund 4,8 Mio. t SKE). Davon könnten bis zum Jahr 2005 etwa 50 PJ (etwa 1,7 Mio. t SKE), bis Mitte des kommenden Jahrhunderts etwa 100 PJ (etwa 3,4 Mio. t SKE) erschlossen werden. Insbesondere die bereits heute wirtschaftliche energetische Nutzung von Holzresten sollte gefördert werden und gleichzeitig die Wettbewerbsfähigkeit von Biomasse durch die Einführung einer CO₂-/Energiesteuer verbessert werden.

Internationale Konvention zum Schutz der Wälder

Die Enquete-Kommission fordert die Bundesregierung auf, ihre bisherigen Initiativen für das Zustandekommen einer Internationalen Konvention zum Schutz der Wälder zu verstärken und im Rahmen der Beratungen der UN-Kommission für nachhaltige Entwicklung (CSD) auf die Ausarbeitung eines Konventionstextes zu dringen. Mit der im Rahmen der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung verabschiedeten Agenda 21 und der Walderklärung sind bereits unverbindliche Ziele und Grundsätze für den Schutz der Wälder in allen Klimazonen geschaffen worden, die nunmehr rasch zu konkreten Verpflichtungen für die Vertragsstaaten einer Waldkonvention weiterentwickelt werden müssen. Zentrale Elemente der Konvention müssen sein:

- Die Einrichtung eines Wald-Sektors in der Globalen Umweltfazilität (GEF) zur Finanzierung von Waldschutzprojekten in Entwicklungsländern und Ländern im wirtschaftlichen Übergang. Die Ausstattung soll sich an der im Waldschutzkapitel der Agenda 21 vorgesehenen Größenordnung von 7 Mrd. US-\$ für den Zeitraum 1993 bis 2000 orientieren. Bei der Mittelvergabe sind auch die auf der Grundlage der inzwischen als Entwurf vorliegenden Wüstenkonvention durchgeführten Maßnahmen zur Bekämpfung der Desertifikation zu berücksichtigen.
- Die Erstellung von nationalen Waldschutzplänen. Diese sollten nicht verbindlich festgeschrieben, sondern durch finanzielle Anreize gefördert werden. So ist Ländern mit einem verbindlichen Waldschutzplan der Zugang zu Finanzmitteln aus dem Wald-Sektor des GEF sowie aus der bi- und multilateralen Zusammenarbeit wesentlich zu erleichtern.

- Die Einrichtung eines Exekutiv-Komitees, das paritätisch mit Vertretern der Geber- und Empfängerländer sowie mit unabhängigen Fachexperten besetzt und für alle mit der Finanzierung, der Genehmigung von Waldschutzplänen und der erforderlichen Kontrolle zusammenhängenden Maßnahmen zuständig ist.
- Die Festlegung nachprüfbarer Kriterien und Indikatoren für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung. Dabei ist sowohl die betriebliche Ebene (Anwendung schonender Einschlagsmethoden, ökologisch verträgliche Nutzungsintensität etc.) als auch die nationale Ebene (Waldflächenentwicklung, Anteil von Waldreservaten an der Waldfläche etc.) zu berücksichtigen.
- Verpflichtungen zur Durchführung von Aufforstungsmaßnahmen, wobei der jeweilige Um-

fang nach den nationalen CO₂-Emissionen und dem Anteil der realen Waldfläche an der potentiellen Waldfläche zu bestimmen ist. Darüber hinaus ist festzulegen, ob und in welcher Form Vertragsstaaten Teile ihre Aufforstungsverpflichtungen in anderen Ländern realisieren können.

Sollte die Verabschiedung einer Waldkonvention im Rahmen der CSD-Verhandlungen nicht möglich sein, sieht die Enquete-Kommission es als Minimalziel an, ein Verhandlungsgremium zur Ausarbeitung der Konvention einzusetzen, dem neben Regierungsvertretern auch Vertreter von Nichtregierungsorganisationen angehören. Dazu sind von der CSD inhaltliche und zeitliche Vorgaben zu machen, die eine Verabschiedung der Konvention spätestens im Jahre 1996 sicherstellen.

1. Die Wälder der Erde

1.1 Verbreitung und Gliederung

Wälder sind die dominierende Vegetationsform der Biosphäre. Folgt man der FAO-Definition¹⁾ bedecken sie mit rund 3,2 Mrd. ha etwa ein Viertel der Landoberfläche. In etwa eine weitere Milliarde Hektar wird von anderen gehölzbedeckten Flächen, zum Beispiel Buschland, eingenommen, so daß insgesamt gut 4 Mrd. ha der Erdoberfläche mit Gehölzen bestockt sind (UN-ECE/FAO 1992a).

Das Erscheinungsbild und die Artenzusammensetzung von Wäldern variieren in erster Linie in Abhängigkeit vom Klima erheblich. Dabei sind grob drei große Waldökotypen voneinander zu unterscheiden (Abb. 1.1):

- Die borealen Wälder, d. h. die überwiegend aus Nadelbäumen bestehenden Wälder der kaltgemäßigten nördlichen Breiten. Sie nehmen zur Zeit etwa 1 400²⁾ Mio. ha ein.
- Die tropischen Wälder, d. h. die immergrünen oder regengrünen Laubwälder im Bereich der Tropen. Diese nehmen insgesamt etwa 1 800 Mio. ha ein.
- Die Wälder der gemäßigten Zone, d. h. die im wesentlichen sommergrünen Laub- und Mischwälder im gemäßigten Klimabereich, die etwa 700 Mio. ha bedecken.

¹⁾ Die FAO versteht unter einem Wald eine von Bäumen dominierte Vegetationsform. Die Bäume müssen dabei im Reifestadium eine Mindesthöhe von 7 m aufweisen und ihre Kronen mindestens 10 % der Bodenoberfläche überschirmen. In kalten und trockenen Klimaten können auch 3 m Höhe ausreichen.

²⁾ Diese Zahl beruht auf nationalen Waldstatistiken und umfaßt auch Mischwälder in den Übergangsbereichen zur gemäßigten Zone.

Die Übergänge zwischen diese Hauptwaldtypen sind fließend, so daß eine genaue Abgrenzung kaum möglich ist. Jeder dieser Waldtypen umfaßt eine Reihe verschiedener Waldformationen (Abb. 1.1), auf die in den folgenden Kapiteln eingegangen wird.

1.2 Das Ökosystem Wald

Ein Ökosystem ist nach Ellenberg (1973) „ein Wirkungsgefüge von Lebewesen und deren anorganischer Umwelt, das zwar offen, aber bis zu einem gewissen Grade zur Selbstregulation befähigt ist.“

Waldökosysteme sind durch die physiognomische Dominanz der Bäume gekennzeichnet. Sie sind komplexe Lebensgemeinschaften, in denen die Lebewesen ständig Energie und Stoffe mit ihrer Umgebung austauschen und dabei annähernd im Gleichgewicht sind. Dabei wird von den Pflanzen bis zu 1 % der Sonnenstrahlung für die Photosynthese, das heißt die Umwandlung von Kohlendioxid und Wasser in Kohlenhydrate, benötigt. Etwa ein Zehntel davon wird als kalorische Energie in der Biomasse gespeichert und nach dem Absterben von den Mikroorganismen wieder freigesetzt. Die Umsetzungsraten variieren je nach Klima- und Bodenverhältnissen stark. Die Stoffflüsse innerhalb eines Waldökosystems werden durch Klima und Bodenbeschaffenheit gesteuert. Nährstoffe aus dem Gestein, dem Boden und der Luft werden von den Pflanzen aufgenommen und nach deren Absterben durch die Zersetzer (z. B. Mikroorganismen) wieder freigesetzt, um erneut von den Pflanzen aufgenommen zu werden.

Dieser Nährstoffkreislauf ist je nach Standort unterschiedlich schnell. In den Tropenwäldern, die sich in Jahrmillionen unter klimatisch besonders günstigen

Bedingungen entwickelt haben, werden die Nährstoffe nach dem Absterben der Biomasse sehr rasch wieder freigesetzt. In anderen Waldtypen, zum Beispiel den borealen Wäldern, ist der Abbau langsamer, so daß sich Auflagen aus unzersetzter toter Biomasse sowie Humus bilden. Die Nährstoffe werden hier erst durch natürliche Brände wieder freigesetzt.

Waldökosysteme sind dynamische Systeme, die durch systeminterne und äußere Prozesse gesteuert werden. Zwischen Entstehung und Klimaxstadium durchlaufen sie mehrere Stadien. Dominieren zu Beginn schnellkeimende und bei starkem Sonnenlicht schnellwachsende Baumarten, so werden diese im Laufe der Zeit mehr und mehr von anderen, dann durchsetzungsfähigeren Arten verdrängt. Die am besten an die spezifischen Standortbedingungen angepaßten Baumarten bleiben am Ende übrig und bilden das sogenannte Klimaxstadium. Wird dieser Wald nicht durch eine katastrophale Ereignis (z. B. Feuer) großflächig vernichtet, laufen in ihm kleinräumige, mosaikartige Verjüngungszyklen ab (Remmert 1993). Der gesamte Entwicklungszeitraum kann mehrerer Jahrhunderte in Anspruch nehmen. Der Klimaxwald befindet sich in einem dynamischen Gleichgewicht, das heißt, daß in mittleren und größeren Zeiträumen nur noch soviel Biomasse gebildet wird, wie im gleichen Zeitraum abstirbt bzw. mikrobiell umgewandelt wird. Je länger dieser Zustand dauert, um so

komplexer und vielfältiger werden die Lebensgemeinschaften. Bekannte Beispiele für derartige alte Waldbestände sind die tropischen Feuchtwälder und die Küstenregenwälder an der Ostküste Nordamerikas.

Der dynamische Gleichgewichtszustand wird jedoch in vielen Gebieten auf natürliche Weise gestört. Dies kann durch Waldbrand, Schädlingsbefall und ähnliches hervorgerufen werden. Wie oben erwähnt ermöglichen derartige Störungen erst die langfristige Stabilität zum Beispiel von borealen Wäldern.

Immer stärker tritt jedoch auch der Mensch als Störfaktor in Wäldern auf. Durch Holzeinschlag, Brände, Stoffeinträge und Klimaänderungen wirkt er auf die Wälder ein. Bis zu einem gewissen Grad sind die Waldökosysteme in der Lage, sich an solche Veränderungen anzupassen. Dies hat zur Folge, daß anhaltende Störungen, wie zum Beispiel wiederholter Holzeinschlag und andauernder Stoffeintrag, zunächst nur relativ geringe Auswirkungen zeigen, bis bei Überschreiten eines Schwellenwertes eine abrupte und katastrophale Destabilisierung einsetzt. Eine Regeneration ist dann, wenn überhaupt, nur noch über lange Zeiträume möglich. Derartige Zusammenbrüche führen nicht nur zu einem Verlust an Pflanzen- und Tierarten, sie nehmen dem Menschen auch den vielfältigen Nutzen, den ihm die Wälder bieten.

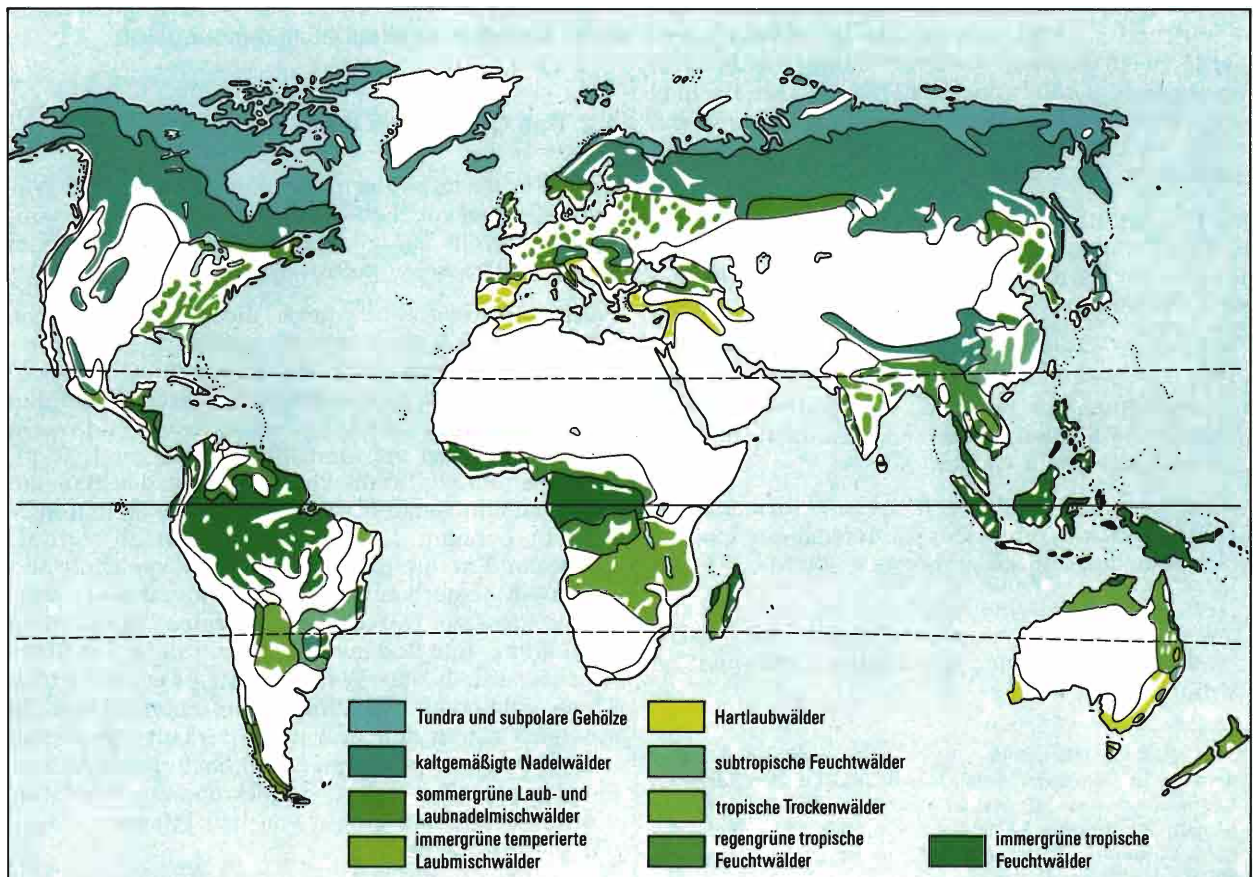


Abbildung 1.1: Aktuelle Verteilung und Gliederung der Wälder

Quelle: EK 1990 a

1.3 Bedeutung der Wälder für den Menschen

Die Wälder sind für den Naturhaushalt und den Menschen von unersetzlichem Wert. Vor allem in den Tropen sind sie der angestammte Lebensraum und Heimstatt vieler Völker, deren Lebensgrundlage unmittelbar von einem stabilen Waldökosystem abhängt. Oft werden Wälder noch überwiegend als Holz- und Landreserve gesehen. Diese eindimensionale Betrachtungsweise vernachlässigt die vielfältigen anderen Funktionen der Wälder für Klima, Schutz vor Bodenerosion, Überschwemmungen und Lawinen, für Abflußregulierung, Grundwasserneubildung und die Filterung sowie für die Versorgung der Menschen mit Nahrungsmitteln und Rohstoffen (Abb. 1.2). In vielen Regionen dienen sie zudem der Erholung.

Kein anderes Ökosystem bietet so vielen Tier- und Pflanzenarten Lebensraum wie die Wälder. Sie sind zudem für die Entwicklung neuer Arten und damit für die Evolution von unersetzlicher Bedeutung. Allein die Hälfte der auf der Erde lebenden Arten wird in den Wäldern der feuchten Tropen vermutet. Mit der Vernichtung von Wäldern geht immer auch der unwiederbringliche Verlust von Tier- und Pflanzenarten einher. Dies ist nicht nur ethisch bedenklich, sondern gefähr-

det auch die ökologische Stabilität. Zudem verringert der Mensch dadurch das Potential, in den Wäldern neue Kulturpflanzen sowie medizinisch nutzbare Stoffe zu entdecken.

Die Klimafunktion der Wälder ist erst in jüngster Zeit ins Interesse von Wissenschaft und Öffentlichkeit gerückt. Dabei steht im Vordergrund die von Wäldern eingebundene Kohlenstoffmenge. Über den Prozeß der Photosynthese entziehen Pflanzen beim Aufbau ihrer Biomasse der Atmosphäre Kohlendioxid, das nach dem Absterben durch mikrobielle Umwandlung wieder an die Atmosphäre abgegeben wird. Ein Teil wird dabei mitunter über lange Zeiträume im Boden „zwischenlagert“. Da bei Bäumen die Zeitspanne zwischen Biomasseaufbau und Absterben besonders lang ist (bis zu mehrere Jahrhunderte) und Waldböden der mittleren und nördlichen Breiten einen besonders hohen Gehalt an organischer Substanz haben, spielen Waldökosysteme im Kohlenstoffhaushalt der Erde als Speicher eine wesentliche Rolle. Die gesamten Kohlenstoffvorräte in der Biosphäre (nicht nur Wälder) werden auf etwa 1 800 Mrd. t geschätzt, wovon der größte Teil mit etwa 1 200 Mrd. tC auf die Böden entfällt. Die Atmosphäre enthält dagegen zur Zeit „nur“ etwa 750 Mrd. tC. Jährlich nimmt die terrestrische Biosphäre davon etwa 60 Mrd. tC auf und setzt gleichzeitig eine in etwa gleiche Menge durch

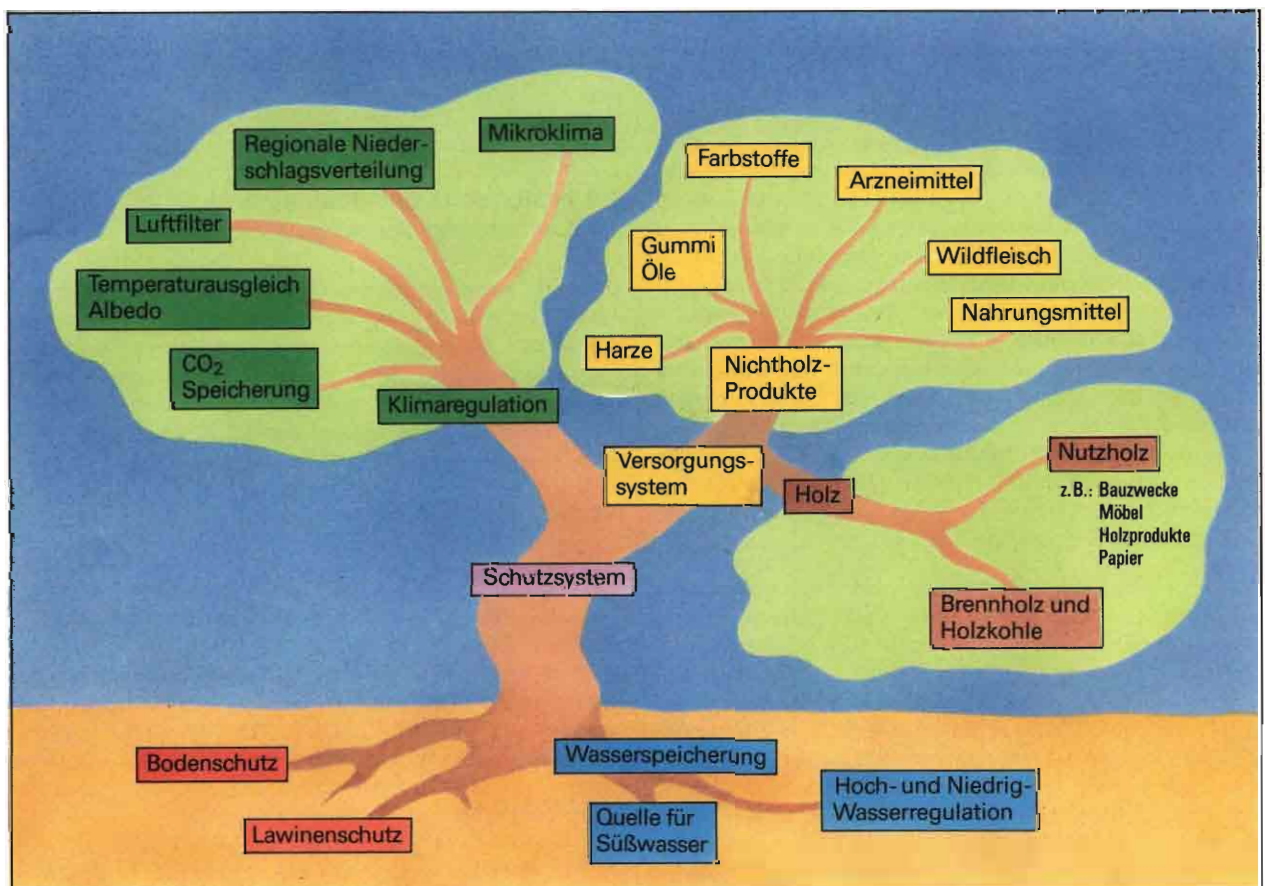


Abbildung 1.2: Die Bedeutung des Ökosystems Wald

Quelle: EK 1990 a

die Verrottung der abgestorbenen organischen Substanz wieder frei.

Aufgrund dieser engen Austauschbeziehung muß eine Verringerung der globalen Waldfläche zwangsläufig zu einer Erhöhung des CO₂-Gehaltes in der Atmosphäre und zu einer Verstärkung des Treibhauseffektes führen. Die Eingriffe des Menschen in die Waldbestände haben zu einer deutlichen Veränderung der Kohlenstoffströme zwischen Biosphäre und Atmosphäre geführt. Es wird geschätzt, daß allein durch die Tropenwaldvernichtung pro Jahr $1,6 \pm 1,0$ Mrd. t Kohlenstoff netto an die Atmosphäre abgegeben werden. Wahrscheinlich wird ein Teil dieses Kohlenstoffs durch den Zuwachs in anderen Wäldern wieder eingebunden. Dennoch trägt die Vernichtung der Wälder zu etwa 10 bis 20 % zum anthropogenen Treibhauseffekt bei.

Von erheblicher klimatischer Relevanz, vor allem auf der regionalen Ebene, ist die Rolle der Wälder im Wasserkreislauf. Wälder steigern die Verdunstung und verstärken dadurch die Wolkenbildung und das Entstehen von Niederschlägen. Sie sind damit ein wichtiger Regulator für das Feuchte- und Temperaturregime und vermindern das Auftreten von Extremereignissen wie Dürren und Hitzeperioden.

Die hohen Verdunstungsraten in Waldgebieten und die hohe Infiltrationskapazität der Waldböden vermindern den Oberflächenabfluß. Wälder schützen daher den Boden vor Erosion. Ihr tiefreichendes und dichtes Wurzelwerk vermindert in Gebirgen zudem das Entstehen von Rutschungen. Sie wirken sich darüber hinaus ausgleichend auf den Abfluß aus und schwächen Hochwässer ab.

Diese Schutzfunktionen sind für den Menschen von unermäßigem Wert und in einigen Regionen (z. B. in Gebirgen) die Voraussetzung für eine dauerhafte Besiedlung. Der Mensch profitiert indirekt jedoch noch weit mehr von den Wäldern. So stellen sowohl die Bäume als auch die Waldböden wichtige Filter für — in der Regel vom Menschen freigesetzte — Schadstoffe dar. Ein beträchtlicher Teil der Schadstoffe (Schwefeldioxid, Stickstoffverbindungen, Schwermetalle usw.) wird von den Bäumen aus der Luft und vom Boden aus dem Sickerwasser gefiltert. Diese Funktion wird den Wäldern vor allem in vielen industrialisierten Ländern mehr und mehr zum Verhängnis. Inzwischen sind die angesammelten Konzentrationen schädlicher Stoffe so hoch, daß sie zu einer Gefährdung für die Stabilität der Waldbestände geworden sind.

Wälder bieten dem Menschen schließlich ein breites Angebot an Nahrungsmitteln und Rohstoffen. Im Vordergrund steht dabei häufig die Holznutzung. Allein in den wirtschaftlich nutzbaren Wäldern der gemäßigten und nördlichen Breiten dürften die Holzvorräte in etwa 100 Mrd. m³ betragen (UN-ECE/FAO 1992a). Der jährliche Holzeinschlag lag zu Beginn der 90er Jahre hier bei rund 1,7 Mrd. m³ (davon ca. 0,4 Mrd. m³ Brennholz und Holzkohle), was in etwa der Hälfte des weltweiten Holzeinschlags entspricht. Gut 0,6 Mrd. m³ davon entfielen auf die borealen Wälder. In den Tropen wurden rund 1,6 Mrd. m³ Holz (davon 1,3 Mrd. m³ Brennholz und Holzkohle) eingeschlagen (FAO 1993a). Die Forst- und Holzwirtschaft

ist in vielen Ländern ein bedeutender Wirtschaftssektor und Devisenquelle.

Hinsichtlich ihrer wirtschaftlichen Bedeutung häufig unterschätzt werden die vielfältigen Nichteisenerzeugnisse aus Wäldern. Zwar werden keine umfassenden Statistiken über das Aufkommen derartiger Produkte geführt, doch verdeutlicht bereits die folgende unvollständige Auflistung die Vielfalt dieser Waldprodukte.

Kautschuk: Allein in Brasilien wurden jährlich zwischen 13 000 (1975) und 42 000 t (1985) von wilden Hevea-Bäumen gesammelt; inzwischen sind erste sogenannte Sammelreservate ausgewiesen worden, die ausschließlich den Kautschuksammlern vorbehalten sind.

Wildfleisch: 62 Entwicklungsländer beziehen mehr als 20 % ihrer Proteinversorgung, 19 sogar mehr als 50 % über Wildfleisch von im Wald lebenden Wildtieren. Auch in Deutschland werden mehrere Mrd. DM jährlich durch Jagd umgesetzt.

Rattan: Über 1 Mrd. US-Dollar werden pro Jahr durch den Handel mit Rattanprodukten umgesetzt.

Harze: Allein Thailand erzeugt jährlich Harze im Wert von 400 000 DM.

Nüsse: können in guten Jahren pro ha ähnliche Export- und Handelswerte erreichen wie Hölzer.

Dazu kommt noch eine Vielzahl von wichtigen Produkten, wie Früchte und Beeren, deren Marktwert durchaus denjenigen des im Wald befindlichen Holzes übertreffen kann. Dies gilt insbesondere für die extrem artenreichen Wälder der immerfeuchten Tropen.

1.4 Historische Entwicklung und aktuelle Gefährdung der Wälder

Die Ausdehnung und der Zustand der Wälder wurden und werden in starkem Maße vom Menschen bestimmt. Zu Beginn der ackerbaulichen Tätigkeit, vor etwa 10 000 Jahren, waren schätzungsweise 6,2 Mrd. ha der Erdoberfläche mit Wäldern bedeckt. Etwa ein Drittel davon sind inzwischen in Siedlungs- und landwirtschaftliche Nutzflächen umgewandelt worden. Von den verbliebenen Wäldern ist etwa die Hälfte durch den Menschen verändert. Nur noch rund 1,5 Mrd. ha Wald sind in natürlichem Zustand (Postel und Ryan 1991).

Regional treten erhebliche Differenzen hinsichtlich des Ausmaßes der menschlichen Eingriffe auf. Während in den nördlichen Breiten und Teilen der Tropen bis heute etwa die Hälfte der Wälder vom Menschen weitgehend unbeeinflusst sind, existieren im Bereich der gemäßigten Zone kaum noch Naturwälder. Das hier früh einsetzende Bevölkerungswachstum und die wirtschaftliche Entwicklung haben bereits im Altertum und Mittelalter zu großflächigen Rodungen der Wälder in Europa und Ostasien geführt. Neben der Schaffung von Siedlungs-, Acker- und Weideland spielten auch die aufkommende Industrie (Erzverhüttung, Salzsiederei usw.), der Schiffbau und die Brenn-

holznutzung eine wichtige Rolle. Aber auch die Nutzung der Streu für die Düngung der Felder sowie die Waldweide haben große Waldgebiete geschädigt. In den USA wurden Wälder nach der Besiedlung durch die Europäer ab dem 17. Jahrhundert in großem Maße gerodet.

Nach Jahrhunderten der Mißwirtschaft waren weite Teile der dicht besiedelten Regionen vor allem in Europa entwaldet. Der Holzmangel drohte die weitere wirtschaftliche Entwicklung maßgeblich zu beeinträchtigen. Aus diesem Grund entwickelte sich ausgehend von Mitteleuropa eine geregelte Forstwirtschaft, deren oberstes Ziel es war, nicht mehr Holz zu nutzen als nachwächst. Dieses holzertragsorientierte Nachhaltigkeitsprinzip hat sich bis heute in den meisten Industrieländern erhalten und oftmals zur Ausweitung der Waldflächen geführt. So blieb die Waldfläche in der gemäßigten Zone, mit Ausnahme von China, im Verlaufe dieses Jahrhunderts relativ konstant, wenngleich es sich häufig um künstlich geschaffene, ökologisch instabile Reinbestände aus schnellwachsenden Baumarten handelt. In vielen Ländern der gemäßigten Breiten sind die Wälder jedoch durch die in großen Mengen an freigesetzten Schwefeldioxide, Stickstoffoxide, Ammoniak und andere Emissionen gefährdet. Der jahrzehntelange Eintrag dieser Stoffe in die Waldökosysteme hat zu einer erheblichen Veränderung der Standortbedingungen geführt, die in vielen Regionen zu einer besorgniserregenden Destabilisierung bis hin zum Absterben der Wälder führt. Sichtbares Zeichen dafür sind die großflächigen Waldschäden in Europa, die erstmals zu Beginn der 80er Jahre in größerem Ausmaß beobachtet wurden. Alarmierende Daten über das schadstoffbedingte großflächige Absterben von Wäldern sind inzwischen vor allem aus der ehemaligen Sowjetunion bekannt.

Die in großen Teilen schwer zugänglichen borealen Wälder waren lange Zeit wenig vom Menschen beeinflusst. Vor dem 18. Jahrhundert beschränkten sich großflächige Rodungen und Holzeinschläge auf Fennoskandien, den europäischen Teil der ehemaligen Sowjetunion und das südliche Kanada. Erst im ausgehenden 19. Jahrhundert fand im Zusammenhang mit den Goldfunden vor allem in Nordamerika eine weitergehende Erschließung der nördlichen Wälder statt. Im Verlaufe des 20. Jahrhunderts setzte sich dieser Prozeß fort und erfaßte auch die peripher gelegenen Regionen in Sibirien und Nordkanada. Als Folge nahmen der Holzeinschlag, die Ansiedlung von Industrieanlagen und der Abbau von Bodenschätzen zu. Insbesondere in der früheren Sowjetunion haben die damit zusammenhängenden Emissionen sowie eine unpfleghche Bewirtschaftung der Wälder in weiten Gebieten zu einer alarmierenden Destabilisierung der Ökosysteme geführt. In jüngster Zeit ist zudem die unplanmäßige Ausweitung des Holzeinschlags auch in entfernt gelegenen und ökologisch sensiblen Regionen des russischen Fernen Ostens zu beklagen.

Auch in Kanada wurden die Wälder in vielen Regionen übernutzt, was vor allem zu einer mangelhaften Verjüngung führte. Riesige Kahlschläge, der verstärkte Einsatz schwerer Maschinen und das starke Wachstum des jährlichen Einschlagvolumens seit

Beginn der 70er Jahre stellen zumindest bislang eine erhebliche Belastung für die Wälder dar und führten zum Beispiel zu einer weitgehenden Umwandlung der biomasse- und artenreichen Regenurwälder entlang der Pazifikküste in weniger reiche Sekundärwälder.

In den Tropen sind nennenswerte Rodungen erst im Verlaufe des letzten Jahrhunderts, vornehmlich im Zusammenhang mit der Ausweitung von Plantagen, aufgetreten. Vor allem nach dem Zweiten Weltkrieg steigerte sich die Waldvernichtung in den Tropen und erreichte Ende der 80er Jahre ein Rate von 17 Mio. ha pro Jahr. Die wichtigsten Gründe dafür sind die Ausweitung von Viehweiden und Anbauflächen für Exportprodukte sowie der Zuzug von Kleinbauern in die Regenwaldgebiete. Letzterer geht häufig zurück auf die Verdrängung der Bauern von ihrem angestammten Land bzw. auf gezielte Umsiedlungsprogramme. Zudem spielt die Ausweitung des Holzeinschlags sowie die Erschließung der Tropenwaldregionen für Industrie und Energiewirtschaft eine wichtige Rolle. In den semi-ariden Tropen, vor allem im Umfeld größerer Städte, führt auch die starke Brennholznutzung zur Waldvernichtung und -degradation.

Etwa die Hälfte der Tropenwälder ist heute noch in natürlichem Zustand. Geht die Vernichtung ungebrems weiter, werden jedoch bis zur Mitte des nächsten Jahrhunderts nur noch 600 von zur Zeit noch knapp 1 800 Mio. ha Tropenwald übrig sein. Weite Gebiete in den Tropen wären dann vollkommen entwaldet. Lediglich in schwer zugänglichen Regionen könnte sich der Wald halten.

1.5 Die Zukunft der Wälder in einem veränderten Klima

Die künftige Entwicklung der Wälder wird nicht nur von den direkten Einwirkungen des Menschen, sondern in erheblichem Maße vom Ausmaß und der Geschwindigkeit der Klimaänderung sowie anderer Veränderungen in der Atmosphäre abhängen. Zwar ist es bislang schwierig, regionale Prognosen zu machen, doch ist mit folgenden Prozessen zu rechnen:

- Die hohe Geschwindigkeit der anthropogenen Klimaänderungen wird die Anpassungsfähigkeit vieler Waldökosysteme übersteigen und kann zu großflächigen Zusammenbrüchen führen.
- Die Temperaturerhöhung bewirkt eine Beschleunigung der mikrobiellen Umsetzung der abgestorbenen organischen Substanz und kann zu einer erhöhten CO₂- und N₂O-Freisetzung aus Wäldern führen.
- Häufigere Wetterextreme wirken destabilisierend auf die Waldökosysteme und vergrößern die Schäden.
- Der erhöhte CO₂-Gehalt der Atmosphäre erhöht bei ausreichender Versorgung mit Wasser und Nährstoffen den Biomassezuwachs, verändert gleichzeitig jedoch die Konkurrenzverhältnisse in den Waldökosystemen und kann so destabilisierend wirken.

— In den nördlichen Breiten sind Pflanzenschäden durch erhöhte UV-B-Strahlung infolge eines fortschreitenden Ozonabbaus in der Stratosphäre zu befürchten.

Das Gefährdungspotential wird noch dadurch gesteigert, daß die Wälder in vielen Regionen der Erde sich bereits heute aufgrund von Über- oder Fehlnutzung bzw. Schadstoffbelastung und Überdüngung in einem ökologisch instabilen Zustand befinden. Insgesamt ist zu befürchten, daß die Klimaänderung zu einer erheblichen Steigerung der CO₂-Emission aus den Wäldern führt wird, die ihrerseits den anthropogenen Treibhauseffekt weiter verstärken wird.

1.6 Zeit zu Handeln

Das Problem der Waldvernichtung und -degradation wird sich in absehbarer Zeit weiter verstärken. Gleichzeitig beeinträchtigen die anthropogen ausgelösten Klima- und Umweltveränderungen die weitere Entwicklung der Wälder in zunehmendem Maße. Diese Entwicklungen können zu großflächigen Zusammenbrüchen von Waldökosystemen führen. Vor diesem Hintergrund muß sofort gehandelt werden, um die Wälder und deren unersetzliche Funktionen für den Naturhaushalt und den Menschen auch in Zukunft zu erhalten. Dabei gilt es sowohl bei der Waldbewirtschaftung anzusetzen als auch die umweltpolitischen Rahmenbedingungen zu verändern.

1.6.1 Maßnahmen außerhalb der Wald- und Holzwirtschaft

Der Zustand der Wälder ist in gewissem Maße Spiegelbild des Umgangs der Gesellschaft mit natürlichen Ressourcen. Insofern würde eine insgesamt nachhaltig wirtschaftende Gesellschaft auch zur Herausbildung stabiler Wälder führen. Von diesem Ideal ist man jedoch noch weit entfernt.

In den Industriestaaten liegen die Verbräuche von Rohstoffen und Energie weit über dem langfristig tragfähigem Maße. Es entstehen trotz aller, vor allem in den westlichen Industriestaaten feststellbaren, Verbesserungen zu viele waldschädigende Emissionen. In der westlichen Welt sind es vor allem die Stickstoffoxide aus dem Verkehrsbereich, inklusive der damit zusammenhängenden Bildung des bodennahen Ozons, sowie die Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft, die den Wäldern zusetzen. In Osteuropa und den Staaten der ehemaligen Sowjetunion spielen Schwefeldioxid- und andere toxische Emissionen aus der Industrie und der Energiewirtschaft die Hauptrolle bei der Waldschädigung. Nur eine möglichst rasche und drastische Minderung der Stoffeinträge in die Wälder kann einer weiteren Ausweitung der Waldschäden entgegenwirken. Dazu gilt es dem wachsenden Verkehrsaufkommen in Europa entgegenzuwirken und die verkehrsgebundenen Emissionen zu verringern. Darüber hinaus sind emissionsmindernde Auflagen für die Landwirtschaft erforderlich. Entsprechende Vorschläge werden im Verkehrsbe-

richt der Enquete-Kommission gemacht bzw. finden sich im Abschnitt B, Kap. 4.

Um die Situation in den ehemaligen Ostblockstaaten zu verbessern wird eine verstärkte finanzielle und technologische Kooperation zwischen Ost und West vonnöten sein.

Wesentlich komplexer sind die Probleme in vielen Entwicklungsländern. Hier ist Waldschutz auf Dauer nur möglich, wenn dem Bevölkerungswachstum, fehlende Landreformen, der zum Teil riesigen — national bzw. durch die internationalen Austauschbeziehungen bedingte — Verschuldung und den hohen Exportraten von Agrarprodukten und Rohstoffen gleichermaßen entgegengewirkt wird. Dies verlangt große Eigenanstrengungen der betroffenen Länder. Gleichzeitig ist jedoch auch die industrialisierte Welt gefordert, um durch partnerschaftliche Zusammenarbeit zur Bewältigung dieser großen Herausforderung beizutragen. Erstens müssen Benachteiligungen der Entwicklungsländer auf dem Weltmarkt aufgehoben werden, weil sie den Aufbau einer nachhaltigen Wirtschaftsweise behindern. Zweitens muß die bilaterale und multilaterale Entwicklungszusammenarbeit wesentlich verändert werden. Dies betrifft sowohl die finanzielle Kooperation (Schuldenerleichterungen bzw. -erlaß, Gewährung von Krediten etc) als auch die technische (Einführung umweltverhaltender Technologien möglichst auf der Basis traditioneller Systeme in den betroffenen Ländern). Drittens müssen die Industrieländer selbst ihre Wirtschaftsweise auf eine nachhaltige Basis stellen, um glaubwürdige Wegbereiter eines neuen nachhaltigen Wirtschaftsmodells zu werden.

Neben diesen regionalspezifischen Anstrengungen gilt es weiterhin, in möglichst kurzer Zeit zu einer drastischen Reduzierung der klimarelevanten Spurengasemissionen zu gelangen, um die zukünftigen Klimaänderungen abzumildern. Dabei sind vor allem die Industrieländer als Hauptverursacher gefordert. Es müssen jedoch gleichzeitig in den heutigen Entwicklungs- und Schwellenländern Maßnahmen zur Zuwachsminderung klimawirksamer Emissionen eingeleitet werden, um möglichst rasch zu einer globalen Reduktion zu gelangen. Im Rahmen des vorliegenden Berichtes werden diese komplexen Handlungsfelder nur zum Teil behandelt (Kapitel 7). Es sei jedoch auf frühere Publikationen der Enquete-Kommission verwiesen (EK 1990a und 1990b).

1.6.2 Herausforderung für die Wald- und Holzwirtschaft

Zur Erhaltung der biologischen Vielfalt und ökologischen Stabilität ist der Schutz vor allem von Primärwaldgebieten erforderlich. Die heute ausgewiesenen Schutzgebiete sowie die Schutzkonzepte reichen nicht aus, um das Überleben einer möglichst großen Anzahl von Waldökotypen, aber auch der in und direkt von ihnen lebenden Völker, zu sichern.

Eine Ausweitung wirksam geschützter Waldgebiete muß einhergehen mit einer nachhaltigen Nutzung der Wirtschaftswälder. Unter diesem bislang nur ansatzweise definierten Begriff sollte eine Waldbewirtschaft-

tung verstanden werden, die den langfristigen Erhalt der vielfältigen Funktionen und Leistungen der Wälder gewährleisten und die ökologische Stabilität zum obersten Ziel hat.

Die Entwicklung und Umsetzung nachhaltiger Bewirtschaftungsmethoden ist einer der zentralsten Aufgaben der Waldwirtschaft. Ungeachtet der in letzter Zeit erzielten Fortschritte fehlen bislang verbindliche, an die spezifischen ökologischen und sozio-ökonomischen Bedingungen angepasste Kriterien für einen nachhaltige Nutzung von Wäldern, die auch den Nichtholzprodukten ausreichend Raum geben.

Ein weiterer wesentlicher Punkt ist die unter ökologischen und klimatischen Gesichtspunkten optimale Verwendung von Holz. Allein in der Bundesrepublik Deutschland entfällt mehr als die Hälfte des Holzverbrauches auf die Papier- und Zellstoffproduktion (Ollmann 1993a). In der nördlichen Zone, vor allem in Kanada und Skandinavien, wurde innerhalb der vergangenen beiden Jahrzehnte die Papier- und Zellstoffproduktion erheblich vergrößert. In anderen Staaten, auch in den Tropen, ist eine ähnliche Tendenz zu verzeichnen. Dieser Trend zur Produktion immer größerer Mengen kurzlebiger Produkte aus Holz beeinträchtigt, neben anderen Umweltproblemen, die Kohlenstoffbilanz des Forst- und Holzsektors. Der in Holzprodukten gespeicherte Kohlenstoff kann über längere Zeiträume eingebunden bleiben (z. B. in einem Möbelstück oder im Bauteilen). Dagegen wird der in Papier- und Zellstoffprodukten gespeicherte Kohlenstoff schnell in Form von Kohlendioxid oder Methan an die Atmosphäre abgegeben.

Es erscheint daher geboten, die Produktion langlebiger Holzprodukte zu fördern, den Verbrauch kurzle-

biger Produkte, zum Beispiel im Verpackungsbereich, zu verringern und diese in Recycling-Verfahren herzustellen. Dies gilt um so mehr, da infolge der notwendigen Maßnahmen zum Schutz und zur nachhaltigen Nutzung der Wälder das Holzangebot eher abnehmen wird.

Um die weltweite Waldfläche in etwa halten zu können bzw. sie möglicherweise sogar auszuweiten bedarf es dringend gezielter Neuaufforstungen. Die größten Potentiale dafür dürften in den tropischen Ländern und den großflächigen Industriestaaten, vor allem den USA liegen. Alle Neuaufforstungen müssen jedoch, um erfolgreich zu sein, den Lebensbedürfnissen der betroffenen Bevölkerung entsprechen und in eine sozial- und umweltverträgliche sowie ökonomisch tragfähige Landnutzungsplanung eingebettet sein. In vielen Regionen der Erde fehlen bislang die dafür notwendigen administrativen und infrastrukturellen Rahmenbedingungen. Hier liegt ein wichtiges Feld der internationalen forstpolitischen Kooperation.

Alle oben geschilderten Maßnahmen müssen mit der Zielsetzung einer größtmöglichen Anpassungsfähigkeit der Wälder an künftige Klimaänderungen erfolgen. Aufgrund der Unsicherheit bisheriger Klimaprognosen und der langen Zeiträume bis zum Erreichen der Klimaxstadiums ist es schwierig, konkrete Vorschläge für die Praxis zu unterbreiten. Grundsätzlich sind jedoch möglichst anpassungsfähige Waldökosysteme hoher biologischer Vielfalt — das heißt ökologische, genetische und artenbezogene Vielfalt — anzustreben. Zum Teil kann auch das gezielte Anpflanzen von Bäumen mit einer breiten Standortamplitude nützlich sein.

2. Die Wälder der borealen Zone

Unter borealen Wäldern werden die durch Nadelbäume dominierten Waldformationen der kaltgemäßigten nördlichen Breiten verstanden. Häufig wird auch die Bezeichnung „Taiga“ verwendet, die sich ursprünglich lediglich auf die borealen Wälder Rußlands bezog. Inzwischen wird der Begriff jedoch als Synonym für die „borealen Wälder“ verstanden. In der älteren Literatur finden sich zudem andere Bezeichnungen, wie z. B. „boreale Nadelwaldzone“ oder „immergrüne Nadelwaldzone“. Diese charakterisieren nur Teile der borealen Waldzone, da in dieser auch Laubholz- und Mischwälder sowie sommergrüne Nadelbäume vorkommen.

2.1 Geographische Verbreitung

Die boreale Waldzone zieht sich als geschlossener Gürtel etwa zwischen 50°N und 70°N durch das nördliche Europa, Asien und Nordamerika (Abb. 2.1).

Die N-S-Erstreckung variiert sehr stark zwischen nur 700 km in Nordeuropa und Teilen Westkanadas und 2 000 km in Ostsibirien. Nach den Tropenwäldern stellen die borealen Wälder die zweitgrößte Vegetationszone der Erde dar. Die von ihnen eingenommene Fläche kann zur Zeit nur geschätzt werden, da eine einheitliche globale Inventur fehlt. Bisherige Schätzungen basieren auf unterschiedlichen Wald-Definitionen und weichen entsprechend voneinander ab. Zudem variieren sie hinsichtlich der Abgrenzung borealer Waldformationen gegenüber benachbarten Vegetationsformen.

Die FAO (1991) geht von einem geschlossenen Waldbestand von 920 Mio. ha in der borealen Zone aus. Unter Einbeziehung von nicht geschlossenen Wäldern, aktuell nicht bestockten Flächen (z. B. durch Feuer, Einschlag u. ä. vorübergehend entwaldete Gebiete) sowie der Übergangszone zu den angrenzenden sommergrünen Laubwäldern schätzen Apps u. a. (1993) die mögliche boreale Waldfläche auf

1 250 Mio. ha. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt Kuusela (1992), der ausgehend von den nationalen Waldstatistiken die von borealen Wäldern eingenommene Fläche auf 1 214 Mio. ha errechnete. Beide Erhebungen beziehen sich jedoch nur auf Kanada, Alaska, die ehemalige Sowjetunion, Schweden, Finnland und Norwegen. Summiert man die Ergebnisse der nationalen Waldstatistiken aller Länder mit borealen Wäldern auf (inkl. Nordostchina, Nordjapan und der Mongolei), so beläuft sich die Fläche auf etwa 1 550 Mio. ha (Tab. 2.1). Da in den einzelnen Ländern jedoch unterschiedliche Inventurmethode und Walddefinitionen verwendet werden, ist auch diese Zahl mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Sie umfaßt zudem auch Übergangsbereiche zu angrenzenden Vegetationszonen und Laubmischwaldbestände innerhalb der nationalen Grenzen. Etwa 150 Mio. ha dieser Fläche werden in den Waldstatistiken als nicht bestockt ausgewiesen, d. h. sie sind durch Feuer, Einschlag und andere Störungen vorübergehend entwaldet oder weisen einen sehr lichten Bestand auf. Die aktuell in der borealen Waldzone bestockte Fläche dürfte demnach eine Größenordnung von 1 400 Mio. ha einnehmen.

Tabelle 2.1

Waldflächen und bestockte Waldflächen in den Ländern der borealen Zone

Nation	Waldfläche	bestockte Fläche
	(Mio. ha)	
Norwegen	9,6	8,1
Schweden	28,0	23,1
Finnland	23,4	20,1
ehemalige UdSSR	941,5	814,3
Alaska	52,2	52,2*)
Kanada	453,3	436,6*)
gesamt I	1 500	1 350
Hokkaido	5,6	5,6*)
Mongolei	15	14
Nordost-China	47,4*)	28,5**)
gesamt II	68	48
Länder der borealen Zone insgesamt	1 550	1 400

*) keine näheren Angaben verfügbar
**) nur Provinz Heilongjiang
*) keine Angaben zur Bestockung; von der nutzbaren produktiven Waldfläche Kanadas sind 16,7 Mio. ha nicht bestockt (Forestry Canada, 1992b)

Quellen: Norwegen und Schweden: (Länderberichte UNECE/FAO, 1992), Finnland: (Länderbericht UNECE/FAO, 1992, Aarne, 1992), ehemalige Sowjetunion: (Schwidenko u. a., 1990), Alaska: (Waddell u. a., 1989), Kanada: (Forestry Canada, 1992b), Hokkaido: (Okada, 1992), Mongolei: (Richardson, 1987), Nordost-China: (Becker, Huang, 1989, Burger, Zhao, 1988)

Etwa 90 % der borealen Waldzone entfallen auf Rußland (ca. 60 %) und Kanada (ca. 30 %). Fennoskandien (Norwegen, Schweden und Finnland) und Alaska haben einen Anteil von 4 bzw. 3 %, die restliche Fläche verteilt sich auf einige Regionen Nordostchinas, im Osten der Mongolei und Nord-Japans.

Die boreale Waldzone geht im Norden in einem Mosaik aus Taiga und Waldtundra in die arktische baumlose Tundra über. Nach Süden schließt sich im ozeanisch geprägten, humiden Klima der küstennahen Gebiete in Europa, Ostasien und dem östlichen Nordamerika die Laubmischwaldzone an. Im kontinentalen Klima Zentralkanadas und Sibiriens bildet eine schmale Pappelwaldzone den Übergang zur Prärie bzw. Steppe.

Eine vegetationsgeographische Sonderstellung nehmen die biomasse- und artenreichen Wälder entlang der Pazifikküste Kanadas und Alaskas ein. Sie werden in der Regel nicht zu den borealen Wäldern gezählt, sind jedoch, wie auch die Übergangsbereiche zur sommergrünen Laubwaldzone, in den hier verwendeten Waldstatistiken enthalten (ca. 1 % der Waldfläche) und sollen folglich in diesem Kapitel berücksichtigt werden.

2.2 Vegetationsgeographische Gliederung

Die räumliche Verteilung der verschiedenen borealen Waldformationen wird in erster Linie durch die klimatischen Bedingungen geprägt. Ferner spielen die Bodenverhältnisse eine Rolle.

Das kaltgemäßigte boreale Klima ist durch lange kalte Winter und kurze warme Sommer gekennzeichnet. Das regionale Klima variiert jedoch erheblich. Von Nord nach Süd nimmt die Länge der Vegetationsperiode (Anzahl der Tage mit einer Mitteltemperatur von mindestens 10°C) von etwa 60 Tage an der nördlichen Waldgrenze auf bis zu 120 Tage zu. Die daraus resultierende breitenabhängige Gliederung wird in sehr starkem Maße von einem von West nach Ost zunehmenden Grad der Kontinentalität überlagert.

In Eurasien macht sich dabei an der West- und Nordküste Skandinaviens der starke ozeanische Einfluß bemerkbar. Der wärmste Monat im Gebiet der borealen Wälder Skandinaviens weist im Mittel eine Temperatur von 10° bis 15°C auf. Die Winter sind mit Monatsmitteln von -3°C bis +2°C außergewöhnlich mild. Niederschläge fallen in allen Jahreszeiten, wobei Jahressummen von 400 bis über 800 mm erreicht werden. Nach Osten hin nimmt die Kontinentalität stetig zu und erreicht im russischen Fernen Osten ihre stärkste Ausprägung. Die Jahresmitteltemperaturen sinken von +3,7°C in St. Petersburg auf -10,4°C in Jakutsk, wo im Januar und Februar Mitteltemperaturen von unter -50°C herrschen und Tagestiefsttemperaturen von unter -75°C auftreten. Die Amplitude der Monatsmittelwerte steigt in Rußland von gut 20°C auf über 60°C an, die Länge der Winter nimmt dabei von 5 bis 6 auf 10 Monate zu. Die Jahresniederschläge sinken von etwa 400 bis 600 mm in der kontinentalen auf unter 200 mm im extrem kontinentalen Osten, wo im Zusammenspiel mit den

Tabelle 2.2

Klimaparameter der borealen kaltgemäßigten Zone

	Jahresmittel- temperaturen	Mittlere Temperatur wärmster Monat	Mittlere Temperatur kältester Monat	Jahres- niederschlag
	°C			mm
ozeanische Subzone	> 4	+10 bis +15	– 3 bis + 2	> 400
kontinentale Subzone	–5 bis 4	+10 bis +20	– 5 bis –20	400 bis 600
extrem kontinentale Subzone . . .	< –5	+10 bis +20	–20 bis –50	200 bis 400

Quelle: Poker 1994 a und Treter 1990 a

hohen Sommertemperaturen (etwa 20 °C im Juli) Trockenstreß für die Pflanzen auftreten kann. An der russischen Pazifikküste bewirkt der ozeanische Einfluß wieder etwas mildere und feuchtere Witterungsbedingungen.

In Nordamerika sind die klimatischen Unterschiede weniger stark ausgeprägt. Die boreale Zone befindet sich hier, mit Ausnahme eines sehr schmalen ozeanisch beeinflussten Küstenstreifens am Fuß der nördlichen Rocky Mountains, vollständig in kontinentalem Klimabereich. Von West nach Ost steigen die Jahresmitteltemperaturen von etwa –5 °C auf 1 bis 2 °C an. Am östlichen Rand der Rocky Mountains fallen im Jahresmittel weniger als 250 mm Niederschlag. Zur Ostküste steigt der Wert auf über 1000 mm an. In gleicher Richtung nehmen die Durchschnittstemperaturen im Winter zu, während die Sommertemperaturen in den meisten Regionen mit 10 bis 15 °C im Juli-Mittel relativ konstant sind. Extrem kontinentale Klimaverhältnisse wie im Osten Sibiriens treten in Nordamerika nicht auf (Treter 1990a).

Neben dem Klima üben die Böden maßgeblichen Einfluß auf Bestandsdichte und Artenzusammensetzung der Wälder aus. Der für das kaltgemäßigte Klima typische Boden ist der Podsol. Dieser ist gekennzeichnet durch die Verlagerung von Eisen- und Aluminiumoxiden in Verbindung mit Humussäuren in tiefere Bodenzonen (Podsolierung). Die sauren und nährstoffarmen Podsole bilden sich meist aus sandigem Ausgangsgestein. Die mikrobielle Aktivität ist gering und führt zusammen mit den niedrigen Temperaturen zu einer gehemmten Umsetzung der abgestorbenen organischen Substanz, so daß zum Teil mächtige Humusaufgaben entstehen.

Die geringe Verdunstung, das häufig vorherrschende flache Relief sowie der Permafrost (s. u.) begünstigen an vielen Stellen das Entstehen ausgedehnter Vernässungszonen, in denen Sümpfe, Moorböden, Gleye und Gleypodsole vorherrschen. Häufig kommt es hier zur Torfbildung. Allein in der ehemaligen Sowjetunion werden 128 Mio. ha von baumlosen oder nur mit kleinwüchsigen Bäumen bestockten Torfmooren eingenommen. Sie stellen einen wesentlichen Bestandteil der borealen Waldlandschaft dar und sind von erheblicher Bedeutung für den globalen Kohlenstoffhaushalt (vgl. Kap. 6.2). In den stärker ozeanisch beeinflussten Gebieten in Nordeuropa, Karelien und

der Pazifikküste bilden sich zumeist Ranker und saure Braunerden (Treter 1990a).

In Gebieten, in denen die Jahresmitteltemperatur zumindest in zwei aufeinanderfolgenden Jahren unter 0 °C liegt, kommt es zur Ausbildung von Permafrostböden. Dabei ist zu unterscheiden zwischen kontinuierlichem Permafrost (Jahresmitteltemperatur immer unter 0 °C) und diskontinuierlichem Permafrost (Jahresmitteltemperatur nur phasenweise unter 0 °C). Die kontinuierliche Permafrostzone erstreckt sich vor allem über Nord- und Ostsibirien und Teile der Waldtundra Nordkanadas und Alaskas. Innerhalb dieser Zone kommen jedoch auch zahlreiche nicht ständig gefrorene Bereiche vor. In der übrigen borealen Waldzone überwiegt der diskontinuierliche Permafrost. Zudem treten nach Süden hin immer mehr permafrostfreie Flächen in Erscheinung. Deren räumliche Verteilung ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig — z. B. Klima, Exposition, Schneedecke, Hydrologie — und wechselt kleinräumig.

Im Sommer tauen die Permafrostböden bis in eine Tiefe von 20 cm bis maximal 100 cm auf. Je dünner die auftauende Bodenschicht ist, desto lichter ist der Waldbestand. Bäume mit einem flachen Wurzelsystem — z. B. Fichten, Lärchen und Pappeln — sind hier gegenüber Tiefwurzlern, wie z. B. der Kiefer, bevorzugt. Der auftauende Permafrostboden ermöglicht auch in trockenen Sommern eine ausreichende Wasserversorgung der Pflanzen.

Die klimatische und bodengeographische Differenzierung spiegelt sich wie folgt in den auftretenden natürlichen Waldformationen wider (Abb. 2.1). In Eurasien verschlechtern sich mit zunehmender klimatischer Kontinentalität die Wuchsbedingungen von West nach Ost. Im europäischen Teil der Taiga dominieren die relativ anspruchsvollen Fichtenwälder, die je nach Standortbedingungen mehr oder weniger stark mit Kiefern oder Tannen durchsetzt sind. Der Anteil der Tannen ist insbesondere auf feuchten Standorten hoch, während Kiefern vornehmlich die trockenen Standorte einnehmen, auf denen sie die dominierende Baumart darstellen können. Die Fichten-Kiefern-Tannenwälder setzen sich als breiter Streifen bis weit in den Osten hinein fort und sind hier mit einer Vielzahl großflächiger Moore und Sümpfe durchsetzt.

Im stark und extrem kontinentalen Osten ist die Lärche die dominierende Baumart. Auf den ständig gefrorenen Böden Mittel- und Ostsibiriens und des russischen Fernen Ostens bildet sie natürliche Reinbestände (Lärchentaiga). Nach Süden nimmt der Anteil der Kiefern zu. An der Pazifikküste treten vermehrt wieder andere Baumarten in Erscheinung. Bedeutend ist hier die Birke, die z. B. in Kamtschatka, ähnlich wie in Nordeuropa, große Bestände bildet.

Auch die breitenabhängigen klimatischen Veränderungen schlagen sich in der Bestockungsdichte und Artenzusammensetzung nieder. Dabei läßt sich die eurasische boreale Waldzone aufteilen in:

- die nördliche Taiga, die im wesentlichen die Waldtundra und die offenen Waldländer umfaßt,
- die mittlere Taiga, die den eigentlichen Kernraum kennzeichnet, sowie
- die südliche Taiga, zu der auch die Übergangszonen zu den Laubholzwäldern gezählt werden (Treter 1990 a).

Die nordamerikanische boreale Waldzone wird von Fichten (Schwarz- und Weißfichte) geprägt. Die relativ anspruchslose Schwarzfichte nimmt zusammen mit der Lärche vor allem die nördliche Zone ein, während nach Süden hin vorwiegend Weißfichten und Balsamtannen vorkommen. Die Tannen treten in den weniger kontinentalen östlichen Provinzen Kanadas verstärkt

auf, Kiefern kommen dagegen vornehmlich in Zentralkanada vor. Laubböler sind in der gesamten borealen Zone verbreitet. Am östlichen Fuß der Rocky Mountains sowie in Alaska stellt die Pappel z. T. sogar die dominierende Baumart dar; zum Teil treten hier auch größere Birkenbestände auf. Ansonsten beschränkt sich das Verbreitungsgebiet der Laubbäume im wesentlichen auf Sonderstandorte wie Flußufer und Niederungsmoore sowie als Pionierbestockung auf Brandflächen (Walter und Breckle 1991).

2.3 Evolution, Struktur und Entwicklungsdynamik borealer Waldökosysteme

Die borealen Waldökosysteme haben sich seit dem Ende der letzten Eiszeit vor etwa 10 000 Jahren entwickelt. Die wenigen, an die ungünstigen Wuchsbedingungen angepaßten Baumarten sind zu unterschiedlichen Zeiten in ihr jetziges Verbreitungsgebiet eingewandert. Fennoskandien wurde zunächst von Birken, Westsibirien von Lärchen und Birken und Westkanada von Pappeln besiedelt. Kiefern, Tannen und Fichten breiteten sich erst später in der heutigen borealen Zone aus (Mac Donald 1992). Die maximalen Ausbreitungsgeschwindigkeiten in nördliche Richtung werden im östlichen Nordamerika für die Fichte auf etwa 400 m/Jahr, für die Kiefer auf gut 600 m/Jahr

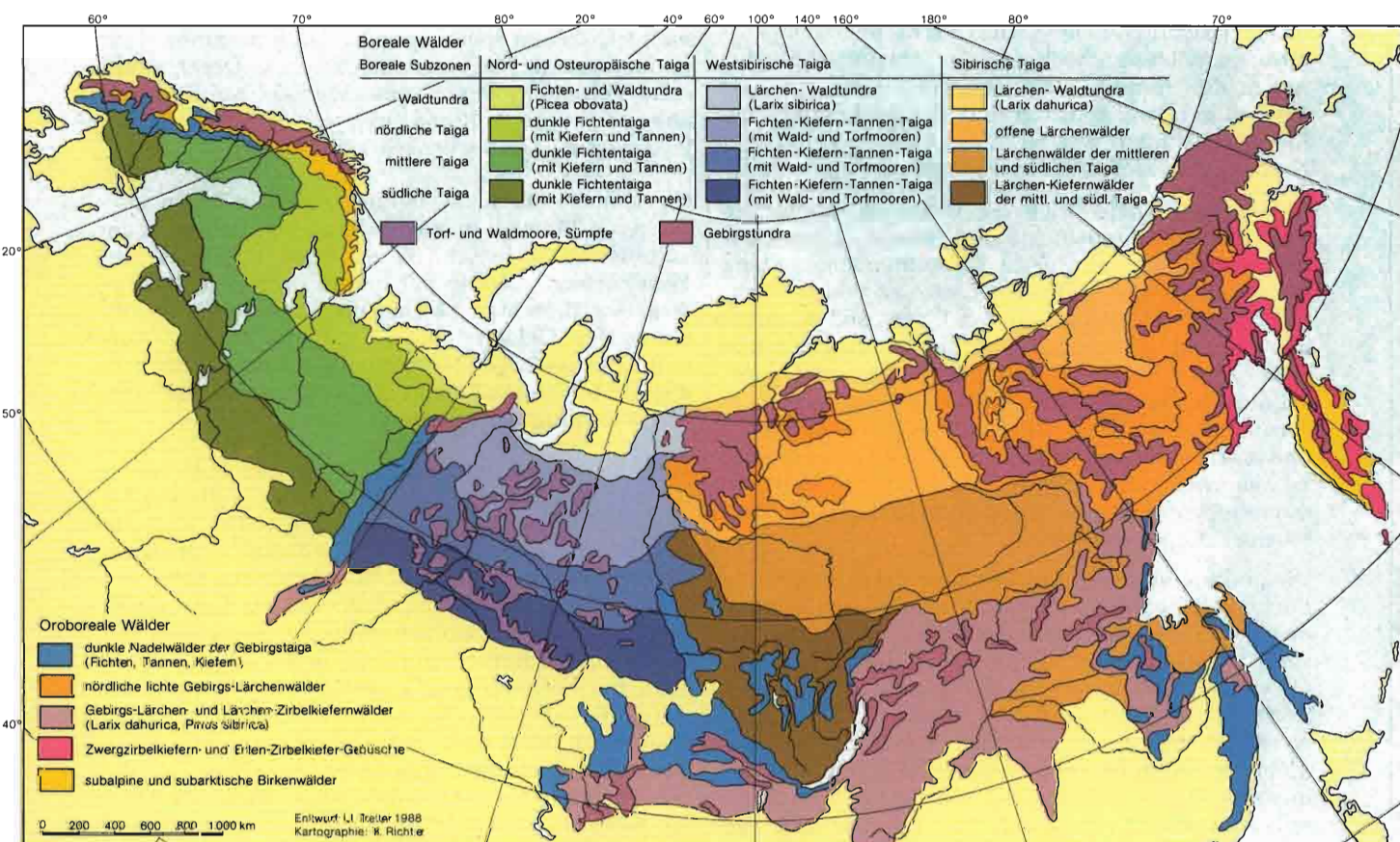


Abbildung 2.1 (a): Räumliche Verbreitung und vegetationsgeographische Gliederung der borealen Wälder in Eurasien
Quelle: Treter 1993

geschätzt (Delcourt und Delcourt 1987), in Nordwest-europa für die Fichte auf 500 m/Jahr und für die Kiefer auf 1 500 m/Jahr (Huntley und Birks 1983). Die klimatischen Schwankungen innerhalb der letzten 10 000 Jahre haben zu Verschiebungen der polaren Waldgrenze geführt. Baumstümpfe in heute wald-freien Gebieten belegen auf allen Kontinenten, daß die Waldgrenze während klimatisch günstiger Phasen deutlich weiter nördlich lag. Als Reaktion auf die Klimaschwankungen innerhalb der letzten Jahrhunderte finden sich heute zumindest in Nordamerika Waldflächen auf ehemaligen Tundrandstandorten (Sirois 1992). In anderen Regionen kann dagegen fest-gestellt werden, daß sich die Waldgrenze aktuell nach Süden verschiebt. Da sich der Einfluß des Menschen auf die nördlichen Wälder jedoch insgesamt erhöht hat, können die aktuellen Entwicklungen nicht aus-schließlich auf die Schwankungen des Klimas zurück-geführt werden. Es ist jedoch wahrscheinlich, daß sich die borealen Wälder auch aktuell in einem dynami-schen Entwicklungsprozeß befinden, der auch durch Klimaschwankungen in der jüngeren Vergangenheit ausgelöst wurde (Apps u. a. 1993).

Die Struktur der borealen Wälder ist durch ein Neben-einander von großflächigen, häufig von einer Baumart

dominierten, altershomogenen Beständen in un-ter-schiedlichen Entwicklungsphasen gekennzeichnet. Sie wird in erster Linie durch Brände hervorgerufen, die den wichtigsten ökologischen Steuerungsprozeß in den borealen Waldökosystemen darstellen. Ihre Häufigkeit ist vor allem von den Feuchtigkeitsverhält-nissen abhängig und regional recht unterschiedlich. Sie drückt sich in der sog. Feuerrotation aus. Diese gibt an, wieviel Zeit durchschnittlich vergeht, bis die Summe der Brandflächen in einem Gebiet der Gesamtfläche des Gebietes entspricht. Dabei brennen Teilflächen über lange Perioden gar nicht, andere mehrmals in einer Rotation. In den sommertrockenen Gebieten Zentralalaskas und Nordwestkanadas be-trägt die Feuerrotation in etwa 50 bis 100 Jahre. In den feuchteren Ostprovinzen liegt sie in etwa bei 100 bis 300 Jahren (Heinselmann 1985).

Die Brände bewirken, daß die Walderneuerung in der borealen Waldzone gleichzeitig auf großen Flächen abläuft. Im Gegensatz dazu läuft in den feuchttropi-schen Wäldern, in denen natürliche Brände kaum vorkommen, die Walderneuerung kleinflächig in durch das Absterben von Bäumen entstehenden Lük-ken ab.

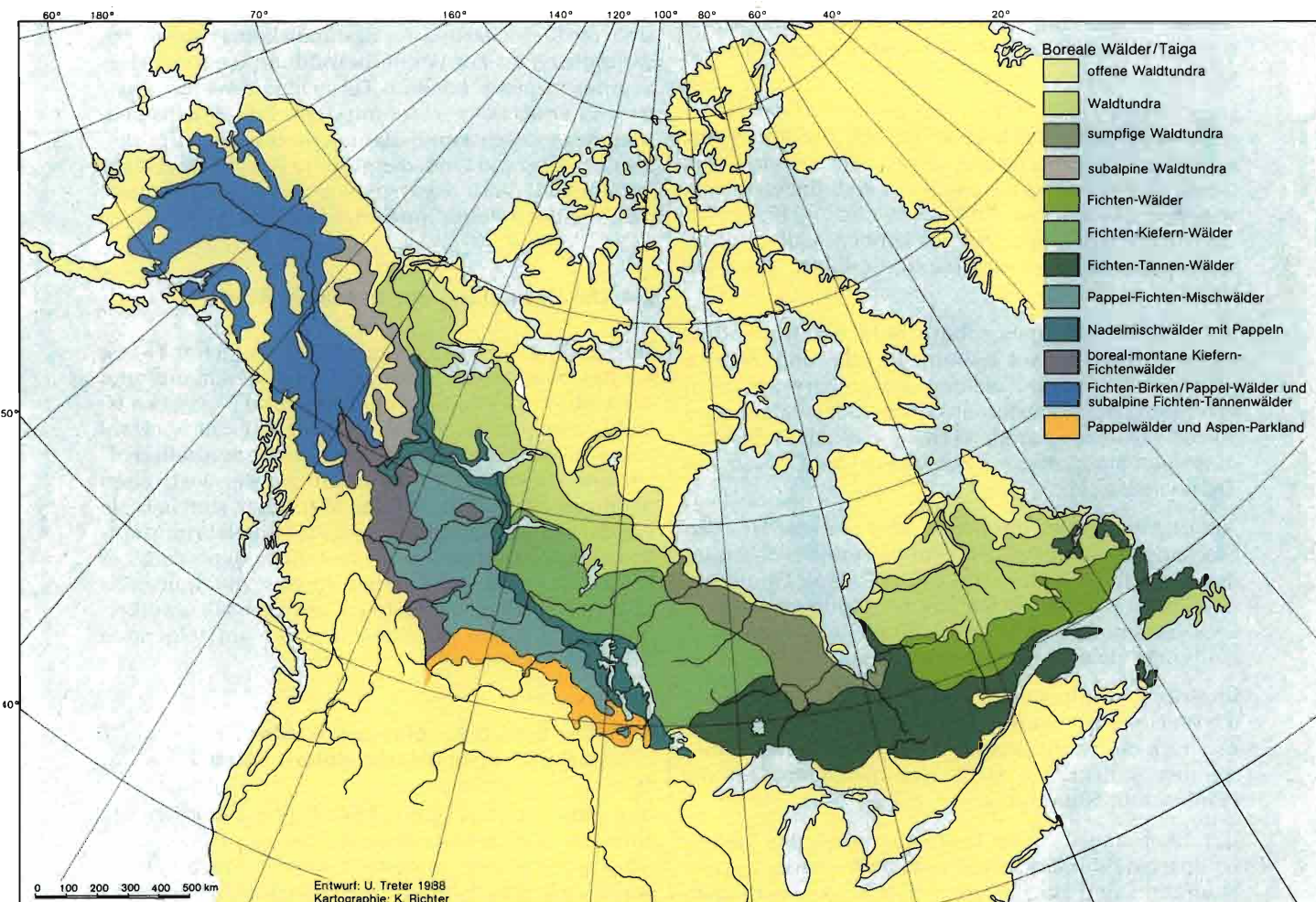


Abbildung 2.1 (b): Räumliche Verbreitung und vegetationsgeographische Gliederung der borealen Wälder in Nordamerika
Quelle: Treter 1993

Feuer ist zudem ein wesentlicher Faktor in den Stoffkreisläufen borealer Wälder, da es die in der Humusaufgabe gespeicherten Nährstoffe freisetzt und dadurch die Keimungsbedingungen für die nachfolgende Baumgeneration entscheidend verbessert. Einen vergleichbaren Einfluß auf die Waldentwicklung haben auch großflächige Schädlingskalamitäten. Diese biotischen Faktoren werden in jüngster Zeit mehr und mehr durch anthropogen verursachte Störungen (Kahlschläge, vom Menschen verursachte Brände, industrielle Schadstoffbelastungen) überlagert (vgl. Kap. 2.4).

Die ungestörte Waldentwicklung durchläuft in der Regel zumindest drei Sukzessionsstadien (Kuusela 1992). Je nach Art der Störung des Vorbestandes (Feuer, Kahlschlag, Schädlingskalamität), Entfernung zu samenproduzierenden Waldbeständen sowie den herrschenden Standortbedingungen beträgt der Zeitraum bis zur Wiederbewaldung wenige Jahre bis einige Jahrzehnte. In der Regel stellen sich zunächst lichtbedürftige Laubbäume ein (Birken, Weiden, Erlen bzw. Pappeln). Dies gilt insbesondere für Standorte mit tonreichen Böden, an deren Oberflächen nach einem Brand häufig alkalische Bedingungen herrschen. Unter den feuchten und nährstoffreichen Verhältnissen wachsen die Pionierarten rasch heran und können sich gegen die sich ebenfalls ausbreitende Grasschicht durchsetzen. Ihre Streu ist relativ nährstoffreich und wird nach dem Absterben rasch zersetzt. Sie behindert ferner die Ausbreitung von Moosen und Flechten.

Dem Pionierwald mischen sich im Verlauf der weiteren Sukzession zunächst Kiefern bei. Auf trockenen, sandigen Standorten, auf denen die durch Feuer freigesetzten Nährstoffe rasch aus dem Boden ausgewaschen werden, können Kiefern auch die Pionierbestockung darstellen. Ebenfalls können häufig auftretende Brände die feueradaptierte Kiefer bevorzugen.

Nach dieser Übergangsphase geht der Bestand in einen Hauptwald mit Kiefern, Fichten und Tannen über. Die Laubhölzer werden schließlich vollständig verdrängt. Bei ungestörtem Sukzessionsverlauf wird auch die Kiefer ausgedunkelt, so daß zumindest auf günstigen Standorten ein Schlußwald mit Fichten und Tannen entsteht.

Auf ungünstigeren Standorten oder bei wiederholten Störungen behaupten sich Laubhölzer über Jahrhunderte. Auch die Kiefer setzt sich bei hoher Feueraktivität bzw. trockenen Standortbedingungen gegenüber anderen Nadelbäumen durch und wird dann häufig zur dominanten Baumart.

Im extrem kontinentalen Mittel- und Ostsibirien sind die Wuchsbedingungen so ungünstig, daß großflächig nur noch die relativ anspruchslose Lärche in Reinbeständen auftritt. Sie stellt hier gleichermaßen die Pionier- und Klimaxart dar.

Der Übergang von den Laubbäumen zu den Nadelbaumarten führt langfristig zu einer Versauerung des Standortes und zur Bildung von Rohhumusaufgaben, in denen Nährstoffe wie auch Kohlenstoff über lange Zeiträume gespeichert werden. Die an diese Bedingungen angepaßten Klimaxarten (Fichte und Tanne)

bilden einschichtige Bestände, in denen Naturverjüngung nur noch nach dem Absterben einzelner Individuen stattfinden kann. Die Walderneuerung ist vom erneuten Auftreten von Feuer oder anderen Störfaktoren abhängig.

Die Wachstumsraten borealer Wälder variieren regional erheblich, sind jedoch im Vergleich zu anderen Waldtypen gering. Der oberirdische Biomassenzuwachs (Trockensubstanz) liegt etwa zwischen 0,3 t/ha/Jahr im Bereich der Waldgrenze und 2 bis 4 t/ha/Jahr im relativ günstigen ozeanischen Klima (Brüning 1989). Die Nettoproduktion in borealen Waldökosystemen nimmt zunächst mit zunehmendem Baumalter zu und erreicht im Alter zwischen 35 (Laubbäume) und 60 Jahren (Nadelbäume) ihren höchsten Wert. Danach sinkt sie rapide ab und wird im Altersstadium („Old-Growth“) negativ, d. h. es wird mehr Biomasse abgebaut als nachwächst (Kuusela 1990).

Die insgesamt geringe Bestandsdynamik der borealen Wälder bewirkt, daß der gesamte ungestörte Entwicklungszyklus vom Primärwald bis zum Bestandszerfall Zeiträume von 2000 Jahren und mehr einnehmen kann (Brüning 1987). Unter günstigen Bedingungen läuft die Entwicklung innerhalb weniger Jahrhunderte ab. Vor allem in Gebieten mit kurzer Feuerrotation werden die Wälder immer wieder auf das Ausgangsniveau der Sukzession zurückgeworfen. Trotz dieser intensiven Störung der Waldentwicklung stellt die Regeneration der Bestände kein Problem dar, wenngleich bis zur Wiederbewaldung mehrere Jahrzehnte vergehen können. Tatsächliche Waldverluste treten nur als Folge einer unpfleglichen Bewirtschaftung oder durch Landnutzungswandel auf. Vor diesem Hintergrund kann der geringe jährliche Zuwachs in borealen Waldökosystemen nicht als Ausdruck mangelnder Vitalität gewertet werden.

2.4 Die Bedeutung der borealen Wälder

Die nördlichen Wälder sind ein wesentlicher Faktor für das globale und regionale Klimageschehen und auf vielfältige Weise in die Stoff- und Wasserkreisläufe eingebunden. Als Lebensraum für eine Vielzahl von Tierarten und spezifischen Pflanzengesellschaften sind sie zudem für die Erhaltung der weltweiten Artenvielfalt wichtig. Für den Menschen sind boreale Wälder mit ihrem breiten Angebot an Nahrungsmitteln und Rohstoffen ein bedeutender ökonomischer Faktor. Sie prägen darüber hinaus die kulturelle Identität vor allem der in ihnen lebenden Naturvölker. Diese vielfältigen Funktionen sollen im folgenden beleuchtet werden.

2.4.1 Der Einfluß der borealen Wälder auf das regionale und globale Klima

Die regional- und globalklimatische Funktion der borealen Wälder ist erst seit kurzer Zeit Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen. Entsprechend bestehen in diesen Bereichen noch große Wissenslücken. Im folgenden kann deshalb nur ein grober Abriß auf der Grundlage weniger wissenschaftlicher Untersuchungen erfolgen.

Die Klimafunktion borealer Wälder basiert im wesentlichen auf

- ihrem Einfluß auf die Energie- und Strahlungsbilanz.
- ihrer Rolle im globalen Kohlenstoffkreislauf sowie
- ihrer Bedeutung für den Wasserhaushalt.

Die Energie- und Strahlungsbilanz wird maßgeblich durch die einfallende Sonnenstrahlung (Globalstrahlung), den Grad der Rückstreuung und die Wolkenbedeckung beeinflusst.

Die Strahlungsverhältnisse in den nördlichen Breiten sind durch eine relativ geringe Sonneneinstrahlung und eine hohe Rückstreuung (Albedo) vor allem durch die winterliche Schnee- und Eisdecke gekennzeichnet. Schreiber (1978) gibt an, daß Neuschneeflächen 81 bis 85 % der einfallenden Sonnenenergie zurückstreuen, dichte Nadelwälder dagegen nur 6 bis 19 %.

Die borealen Wälder vermindern durch ihre dunkle Farbe also die Strahlungsreflektion und erhöhen die vorherrschenden Temperaturen. Dies gilt insbesondere für die Zeit der Schneeschmelze im Frühjahr, während der die Differenz der Absorption der Sonnenstrahlung zwischen (mit immergrünen Nadelbäumen) bewaldeten und den meist noch schneebedeckten waldlosen Flächen am größten ist.

Im Verlauf des Sommers begrünen sich die waldfreien Flächen und die Lärchenwälder. Im Hinblick auf die Strahlungsbilanz wirken sie dadurch ähnlich wie die übrigen bewaldeten Flächen. Entsprechend ist der relative Einfluß der Waldflächen auf die sommerliche Strahlungsbilanz deutlich geringer als im Frühjahr. Ähnlich ist die Situation im Winter, wenn offene und bewaldete Flächen von Schnee bedeckt sind und sich ihre Albedo kaum unterscheidet.

Bonan u. a. (1992) versuchten anhand numerischer Klimamodellen den Einfluß der borealen Wälder auf die Strahlungs- bzw. Temperaturverhältnisse zu ermitteln. Dabei ergab sich unter der drastischen Annahme, daß alle heutigen Waldflächen nördlich des 45. Breitengrades unbestockt sind, eine deutliche Absenkung der monatlichen Mitteltemperaturen zwischen 12°C im April und 5°C im Juli und Oktober. Die Hauptgründe für diese hypothetische Abkühlung waren

- die erhöhte Albedo aufgrund der länger anhaltenden Schneebedeckung sowie
- eine dadurch niedrigere Temperatur der Meeresoberfläche in den angrenzenden nördlichen Breiten.

Die durch Entwaldung der nördlichen Breiten zu erwartende Veränderung der Albedo würde sich laut Bonan u. a. (1992) bis weit in die niederen Breiten auswirken.

Neben der Albedo beeinflussen die Wälder die Verdunstung und die Wolkenbildung. Dies wirkt sich einerseits auf die Strahlungsverhältnisse aus und andererseits auf den Wasserhaushalt. Während z. B.

für die tropischen Wälder bereits relativ konkrete diesbezügliche Berechnungen vorliegen (EK 1990a), fehlen diese für die Wälder der nördlichen Breiten. Es ist jedoch davon auszugehen, daß auch in der borealen Zone die tatsächliche Verdunstung von den bewaldeten Flächen größer ist als von unbewaldeten. Grundsätzlich fördern die borealen Wälder dadurch die Wolkenbildung und das Entstehen von Niederschlägen. Es ist jedoch zu bedenken, daß die Niederschläge in der borealen Zone vornehmlich durch advektive, d. h. horizontale, Bewegungen feuchter Meeresluft hervorgerufen werden. Die Evaporation über den Kontinenten spielt dagegen eine untergeordnete Rolle. Die Rolle der borealen Wälder im Wasserkreislauf dürfte entsprechend weniger gewichtig sein als die der Tropenwälder. Wichtiger ist ihre Wirkung gegen Versumpfung bzw. das weitere Vordringen der Tundra.

Neben der Strahlungsbilanz beeinflussen die borealen Wälder über den Kohlenstoffhaushalt das Klima. Dabei sind die bisher vorliegenden Schätzungen der in den borealen Wäldern gespeicherte Kohlenstoffmenge höchst variabel (vgl. Kap. 6). Sie basieren nur zum Teil auf Biomasseinventuren, häufig werden die Ergebnisse der auf die Ermittlung des durchschnittlichen Holzvorrates ausgerichteten Waldinventuren herangezogen. Der auf dieser Grundlage geschätzte Kohlenstoffgehalt der lebenden Biomasse nimmt eine Größenordnung zwischen 25 (UN-ECE/FAO 1992 b) und 90 t/ha (Whittaker und Likens 1973) ein. Die Gesamtmenge dürfte zwischen 45 und 119 Mrd. tC liegen (Olson u. a. 1983). Die jüngste Schätzung (Apps u. a. 1993) beziffert die von der borealen Vegetation (inklusive der kanadischen Regenwälder) gespeicherte Kohlenstoffmenge auf 64 Mrd. tC. Dieser Wert basiert auf einer Reihe regionaler und nationaler Schätzungen (z. B. Kolchugina und Vinson 1993, Kurz u. a. 1992, Birdsey 1992) und stellt wahrscheinlich die momentan beste Schätzung dar.

Noch schwieriger ist die Ermittlung des in der toten Biomasse und der organischen Substanz im Boden gespeicherten Kohlenstoffmenge. Diese liegt in der borealen Zone deutlich über der lebenden Biomasse und wird über die Hochrechnung von Einzeluntersuchungen ermittelt. Besonders problematisch sind dabei die ausgedehnten Moore, deren Ausdehnung und jeweilige Tiefe kaum bekannt sind. Post u. a. (1982) schätzen die im Boden gespeicherte Kohlenstoffmenge auf knapp 400 Mrd. tC, während Apps u. a. (1993) auf eine Summe von 200 Mrd. tC in den Waldböden und weiteren rund 420 Mrd. tC in den Moorböden kommen. Die Kohlenstoffmenge in der toten Biomasse wird von ihnen auf etwa 30 Mrd. tC geschätzt.

Faßt man die Ergebnisse von Apps u. a. (1993) zusammen, so dürfte die boreale Zone (ohne Tundra) mit einer Menge von etwa 700 Mrd. t Kohlenstoff den größten, auf ein Biom konzentrierten biosphärischen Kohlenstoffspeicher darstellen. Die Autoren schätzen außerdem ab, daß die borealen Waldökosysteme der Atmosphäre zur Zeit netto etwa 0,7 Mrd. tC/Jahr entziehen und damit dem anthropogenen Treibhauseffekt aktuell entgegenwirken. Kurz u. a. (1992) haben für Kanada (30 % der borealen Wälder) nur

eine Senkenstärke von 0,07 Mrd. tC/Jahr ermittelt. Ausgehend von diesem Wert sollte die Netto-Kohlenstoffbindung in der ehemaligen Sowjetunion (60 % der borealen Wälder) bei rund 0,15 Mrd. tC/Jahr liegen, so daß die Senkenstärke insgesamt rund 0,2 Mrd. tC/Jahr betragen, angesichts des zum Teil katastrophalen Waldzustandes in der GUS aber eher kleiner sein sollte.

Eine weitere Zunahme der Waldbrände, der industriellen Schadstoffemissionen und die Ausweitung nicht nachhaltiger Bewirtschaftungsmethoden könnten die borealen Wälder jedoch bereits in absehbarer Zukunft in eine Netto-Quelle für Kohlenstoff umwandeln. Eine derartige Entwicklung würde zu einer noch nicht quantifizierbaren Erhöhung des CO₂-Gehaltes der Atmosphäre und damit zu einer Verstärkung des anthropogenen Treibhauseffektes führen. Es muß jedoch betont werden, daß bislang bei weitem nicht alle Einflußfaktoren auf den Kohlenstoffhaushalt in borealen Wäldern ausreichend bekannt sind. Entsprechend unsicher sind die angegebenen Werte (vgl. Kap 6).

Es bleibt demnach festzuhalten, daß die aktuelle Rolle der borealen Wälder für den Kohlenstoffkreislauf und die lokale Energiebilanz wenig gesichert ist. Ihr Einfluß auf die Strahlungsbilanz erhöht die durchschnittlichen Temperaturen vor allem in der Waldzone selbst. Entsprechend würde eine deutliche Verringerung der Waldfläche zu einer strahlungsbedingten Temperaturabsenkung führen. Dagegen deuten einige Untersuchungen darauf hin, daß die borealen Wälder als schwache Kohlenstoffsенке einer anthropogenen Erwärmung der Erde etwas entgegenwirken. Nach Einschätzung von Bonan u. a. (1992) könnten beide Effekte eine vergleichbare Größenordnung einnehmen.

2.4.2 Biodiversität

Die Vielfältigkeit der Lebensformen und Lebensgemeinschaften von Pflanzen und Tieren sind eine der grundlegenden Voraussetzungen für die Stabilität der Ökosysteme. Ihr Erhalt ist für die langfristige Sicherung des vielfältigen Nutzens, den die Wälder dem Menschen bieten, vor allem auf der lokalen und regionalen Ebene von herausragender Bedeutung. Vor diesem Hintergrund soll im folgenden auf die spezifischen biologischen Eigenarten in den borealen Wäldern eingegangen werden.

Die spezifischen klimatischen und ökologischen Bedingungen sowie das — bedingt durch großflächige Brände und Schädlingsbefall — geringe Alter der borealen Wälder bedingen die bereits angesprochene relative Artenarmut der Flora. Davon ausgenommen sind lediglich die Wälder entlang der Pazifikküste Kanadas und Alaskas, auf die weiter unten eingegangen wird.

Die Fauna der borealen Waldökosysteme ist aufgrund der geringen Besiedlungsdichte in weiten Teilen noch intakt. Neben einer Vielzahl von Vogelarten, die hier zum großen Teil in den Sommermonaten ihre Brutreviere aufsuchen, sind in den borealen Wäldern einige Großtierarten, vor allem Elche, Rentiere und Bären

heimisch. Weitere typische Vertreter der borealen Fauna sind Schneehasen, Biber und eine Vielzahl weiterer Nagetiere, von denen die wichtigsten Eichhörnchen sind. Unter den Raubtieren sind Polarfuchs, Luchs, Nerz sowie Wiesel und Marderarten am weitesten verbreitet (Walter und Breckle 1991).

Die Umwandlung von Primärwäldern in Wirtschaftswälder hat in der Vergangenheit in einigen Fällen zu einem Rückgang bestimmter Tierpopulationen geführt, so z. B. für den Marder in Neufundland oder das Auerwild in Norwegen. In Finnland zählt die Gefährdung von Arten durch Einschlag der Primärwälder und deren Umwandlung in Monokulturen zu den vorrangigen nationalen Problemen (UN-ECE/FAO 1993). In Sibirien ist der Ussurische Tiger vom Aussterben bedroht (Ökologische Briefe 1992). Zudem werden in Rußland immer noch die durch das Artenschutzabkommen CITES geschützten Bären massiv gejagt. Die Bärengalle wird als Naturheilmittel nach Südostasien exportiert (Sangi 1992). Umgekehrt haben sich einige bedrohte Populationen durch Schutzmaßnahmen erheblich vergrößert, so z. B. der Braunbärenbestand in Schweden (Natur 1992). Der Bestand an Elchen hat in Skandinavien und Nordrußland auch durch die erhöhte Holznutzung und nachfolgende Verjüngung stark zugenommen und wirkt sich zum Teil extrem schädlich auf die natürliche Waldverjüngung aus.

Die Regenwälder entlang der Pazifikküste Kanadas und Alaskas

Hinsichtlich der Artenvielfalt und der Ausprägung nehmen die extrem biomassereichen Küstenwälder in Kanada und Alaska eine herausragende Stellung in der kaltgemäßigten Zone ein. Sie werden zusammen mit ähnlichen Beständen an den Westküsten von Norwegen und Chile, auf Tasmanien und in Neuseeland häufig als „temperierte Regenwälder“ bezeichnet (Kellog 1992). Dieser Vegetationstyp nimmt mit etwa 30 bis 40 Mio. ha rund 0,2 % der gesamten Landoberfläche der Erde ein, ist jedoch aufgrund der spezifischen ökologischen Bedingungen von erheblicher Bedeutung für die Artenvielfalt dieser Regionen. Dies gilt insbesondere für Nordamerika, wo etwa die Hälfte dieser Wälder stockt. Die Küstenregenwälder weisen zudem durchweg sehr hohe Biomassendichten auf und sind daher trotz der geringen Ausdehnung ein wichtiger Faktor im globalen Kohlenstoffkreislauf. Etwa die Hälfte der temperierten Regenurwälder ist durch Einschlag bereits in Sekundärwälder umgewandelt worden, nur ein Sechstel ist unter Schutz gestellt. Rund zwei Drittel der noch nicht eingeschlagenen Regenwälder befinden sich in Alaska, mit ca. 5,5 Mio. ha bzw. 90 % der hier ursprünglich vorhandenen Küstenwälder, und Britisch Kolumbien, mit ca. 2,5 Mio. ha bzw. 43 % der hier ursprünglich vorhandenen Küstenwälder (Weigand 1990).

Vor allem in Britisch Kolumbien ermöglichen hohe Niederschläge von bis zu 4 400 mm/Jahr und milde Temperaturen in dem schmalen Küstenstreifen auf der Westseite der Rocky Mountains Biomassendichten von 1 100 t/ha und mehr (Sierra Club 1991). Die Wälder setzen sich im wesentlichen aus Hemlock,

Thuja, Sitka-Fichte und Douglasie zusammen. Aufgrund des bis vor kurzem geringen Einflusses des Menschen und der geringen Feueraktivität weisen viele Bäume ein Alter von 300 bis 800 Jahren, im Einzelfall bis zu 2 000 Jahren auf. Die Wälder gehören damit zu den ältesten Beständen der Erde. Das günstige Klima läßt Baumhöhen bis 100 m zu. Einige der Baumarten sind endemisch, d. h. sie kommen nur in diesen Wäldern vor.

Die hohe Reliefenergie und die durch eine Vielzahl von Flußmündungen und Buchten gekennzeichnete Küstenlinie charakterisieren diese einzigartige Landschaft, die einer Vielzahl von Tierarten als Lebensraum dient. Neben Elchen und Bären finden sich in den bislang wenig erschlossenen Gebieten zahlreiche z. T. bedrohte Vogelarten, z. B. Weißkopf-Seeadler und Marmelalk (ein Verwandter des Pinguins, der jedoch flugfähig ist und in Bäumen brütet). Allein in den Regenwäldern auf der Vancouver-Insel brüten 130 Vogelarten. Ein großer Teil von ihnen ist als Höhlenbrüter auf das Vorhandensein abgestorbener Baumstämme angewiesen.

Die Regenwälder sind maßgeblich dafür verantwortlich, daß 12 % der Reptilien, 27 % der Amphibien, 9 % der Brutvögel und 17 % der Säugetiere Kanadas ausschließlich in Britisch Kolumbien vorkommen (Fenger und Harcombe o.J.). Die Gewässer sind äußerst fischreich. Allein in den Flüssen auf der Vancouver-Insel befinden sich die Laichgebiete von fünf Lachsarten (Sierra Club und Wilderness Society 1991, Kellog 1992). Die Bestände sind direkt vom Vorhandensein der Urwälder abhängig, da die abgestorbenen Baumstämme als natürliche Dämme wirken und das Abschwemmen des Laiches verhindern (Sierra Club o.J.).

2.4.3 Lebensraum für die heutige Bevölkerung, speziell für indigene Völker

Auf der nationalen und regionalen Ebene sind die borealen Wälder von zentraler wirtschaftlicher, ökologischer und sozialer Bedeutung und unterliegen einer Vielzahl zum Teil widersprüchlicher Nutzungsinteressen. Besonders deutlich wird dies in den immer noch bestehenden Konflikten zwischen den Nutzungsansprüchen der industriellen Gesellschaft und den Interessen der in den Wäldern lebenden Ureinwohner. Sehr lange waren die nördlichen Wälder das Siedlungsgebiet indigener Völker, deren Existenzgrundlagen zum Teil durch die fortschreitende Erschließung der Wälder für die Forst- und Holzwirtschaft sowie industrielle Komplexe bedroht sind. Allein in der russischen Taiga leben 26 indigene Volksstämme, deren Siedlungsgebiete nicht unter Schutz gestellt sind. Bergbau und Erdöl-/Erdgasgewinnung sowie der zunehmende Holzeinschlag bedrohen ihre Lebensgrundlagen, zumeist die Waldweidewirtschaft und der Fischfang (Ökologische Briefe 1992).

In Lappland sind dagegen die Lebensräume der traditionell wirtschaftenden Lappen unter Schutz gestellt worden. In Alaska können die indianischen Völker auf 17,8 Mio. ha das Recht zur unabhängigen Bewirtschaftung einfordern.

Auch in Kanada, wo bislang die Landrechtsfrage zu Lasten der Ureinwohner („First Nations“) noch weitgehend ungeklärt ist, fordern zahlreiche Stämme Eigentumsrechte ein. Beispielsweise versuchen die Gitksan-Wet'suweten in Britisch Kolumbien, deren Existenzgrundlage durch die bereits vergebenen Einschlagskonzessionen in ihrem Siedlungsgebiet bedroht ist, das Eigentumsrecht an 10 Mio. ha Land einzuklagen (Gesellschaft für bedrohte Völker, 1992). Auch die Lubicon Cree, deren Lebensraum im Norden Albertas durch bereits vergebene Einschlagskonzessionen bedroht ist, versuchen das Nutzungsrecht gerichtlich einzuklagen (BMAG 1992).

2.4.4 Wirtschaftliche Bedeutung

Die größte wirtschaftliche Bedeutung der borealen Wälder liegt bei der Holznutzung. Nach Angaben der FAO findet in ihnen mit über 500 Mio. m³/Jahr ein Drittel des weltweiten Nutzholzeinschlages statt (Tab. 2.3). Die Brennholznutzung spielt dagegen mit etwa 100 Mio. m³/Jahr eine geringere Rolle. Die Ergebnisse einer Erhebung des jährlichen Einschlagsvolumens durch die UN-ECE deutet darauf hin, daß der tatsächliche Einschlag in der borealen Zone sogar noch deutlich höher liegt als es die FAO-Angaben widerspiegeln. In Kanada lag das Einschlagsvolumen in den Jahren 1987 bis 1989 bei jährlich 190 Mio. m³ (Forestry Canada 1992b). Der Anteil am weltweiten Nutzholzeinschlag dürfte entsprechend bei über 40 % liegen.

Das geerntete Holz eignet sich insbesondere zur Produktion von Nadelnschmitt Holz, Holzplattenwerkstoffen sowie Zellstoff und Papierprodukten. Entsprechend nimmt die Forst- und Holzwirtschaft in den Volkswirtschaften der Länder in der borealen Zone eine bedeutende Stellung ein (in Finnland z. B. 8 % am BSP).

Im Vordergrund steht, angesichts geringer Bevölkerungszahlen und des großen Holzzuwachses in der borealen Zone, der Export von Nadelnschmitt Holz und Produkten der Zellstoff- und Papierindustrie. Mit einem Gesamtwert von knapp 40 Mrd. US-\$ erzielten die Exporte von Holz- und Papierprodukten aus den fünf wichtigsten Ländern der borealen Zone rund 40 % des weltweiten Wertes (vgl. Tab 2.3). Für Schweden macht dieser Sektor etwa 20 %, in Finnland knapp 40 % und in Kanada 17 % des Gesamtexportwertes aus. In den Staaten der ehemaligen Sowjetunion ist der Forst- und Holzsektor nur mit 3,7 % am nationalen Export beteiligt (Min.f. Außenhandelsbeziehungen UdSSR 1991).

Der Wald dient neben der Holzgewinnung und den damit verbundenen Funktionen für Arbeit und Einkommen auch als Quelle für andere Rohstoffe und Nahrungsmittel. Da umfassende Statistiken darüber nicht geführt werden, können die folgenden Angaben nur als Beispiele für die aktuellen jährlichen Erntemengen betrachtet werden (zitiert in Poker 1994a). Sie umfassen nicht den bedeutenden Verbrauch auf individueller bzw. lokaler Ebene.

Tabelle 2.3

Holzeinschlag und Holzprodukte sowie die Exporterlöse der Forst- und Holzwirtschaft im Jahr 1991
in den wichtigsten Ländern der borealen Waldzone

Land	Gesamter Einschlag	Brennholz	Nutzholz	Schnittholz	Span- und Faserplatten	Zellstoff	Papier und Karton	Exportertlöse Holz und Holzprodukte
	in 1000 m ³					in 1000 t		in 1000 US\$
ehemalige UdSSR	355 400	81 100	274 300	75 500	11 490	8 662	9 590	2 773 316
Kanada	162 084	6 773	155 304	52 040	5 555	23 308	16 559	16 930 896
Schweden .	51 724	4 424	47 300	11 536	1 125	9 885	8 355	9 872 643
Finnland . .	34 091	2 984	31 107	5 983	969	8 483	8 505	8 238 230
Norwegen .	10 987	910	10 027	2 313	583	2 108	1 784	1 516 504
Total	614 286	96 191	518 038	147 372	19 722	52 446	44 793	39 330 589
Welt	3 429 426	1 830 153	1 599 272	457 477	122 425	154 691	243 472	98 050 112
Anteil boreal	18 %	5 %	32 %	32 %	16 %	34 %	18 %	40 %

Quellen: FAO (1993b) und CCFM (1993)

Ehemalige Sowjetunion:

209 900 Stück Wildgeflügel, 27 600 t Wildfleisch, 120 000 t Früchte und Beeren, 20 000 t Pilze, 15 000 t Nüsse, 100 000 t Honig, 60 000 t medizinische Pflanzen und 151 000 t Harz; darüber hinaus wurden auf 12 Mio. ha industriell Zirbelkiefernüsse und in erheblichem Umfang Öle aus Tannen-, Kiefern- und Fichtennadeln gewonnen

Litauen:

1 kg Wild/ha Waldfläche, 35 200 ha produktive Waldbeerenfläche mit Durchschnittserträgen von 100—200 kg/ha (Heidelbeere), 100—180 kg/ha (Preiselbeere), 130—320 kg/ha (Moosbeere) und 100—280 kg/ha (Himbeere)

Schweden:

80 Mio. l Beeren und 20 Mio. l Pilze

Finnland:

20—40 000 t Wildbeeren, 10—20 000 t Pilze, 83 300 t Wildfleisch (davon ⅓ Elch)

Kanada:

3,2 Mio. Wildtierpelze von Bisamratten, Biber, Eichhörnchen, Marder, Waschbär, Wildnerz u. a.; darüber hinaus wurden allein im kanadischen Privatwald (ca. 9 % der Waldfläche) im Jahr 1986 2,5 Mio. Weihnachtsbäume geerntet.

2.4.5 Schutz- und Erholungsfunktion

Die wichtigsten ökologischen und sozialen Funktionen der Wälder sind der Landschafts- und Bodenschutz, der Schutz vor Witterungsextremen (z. B. Stürme, Extremtemperaturen), der Naturschutz, die Regulation des Wasserhaushaltes und ihr Freizeit und Erholungswert. Zur Sicherung dieser Leistungen gelten für Teile der borealen Wälder besondere Schutzmaßnahmen. So sind beispielsweise in Kanada 27 Mio. ha Wald unter Naturschutz gestellt, weiteren 24 Mio. ha kommt eine erhöhte Schutzfunktion zu. Diese Wälder sind nicht oder nur beschränkt nutzbar (Forestry Canada 1992b). In Alaska stehen 3,1 Mio. ha Wald unter Naturschutz, 12,1 Mio. ha sind in privatem Besitz, ein Großteil davon allerdings der unabhängigen Nutzung durch Indianer vorbehalten. In Norwegen weisen nach Angaben von Korsmo (1991) knapp 190 000 ha Wald eine erhöhte Schutzfunktion auf. In der ehemaligen Sowjetunion waren laut Inventur im Jahr 1988 insgesamt 298 Mio. ha des Waldfonds als Wälder mit besonderen sozialen Funktionen und ökologischen Schutzfunktionen ausgewiesen. Die industrielle Holznutzung ist in diesen Wäldern untersagt, ein begrenzter Einschlag zum Teil jedoch erlaubt. Weiteren 103 Mio. ha Wäldern wurde eine erhöhte Schutzfunktion zuerkannt. Eine Bewirtschaftung ist hier unter Erhalt der Schutzfunktion möglich.

Die Schutzgebiete in der borealen Zone nehmen oftmals unproduktive Waldflächen ein. Von den als produktiv eingeschätzten Wäldern sind nur wenige Prozent unter Schutz gestellt, wie die Tabelle 2.5 verdeutlicht.

Tabelle 2.4

Verbliebene Naturwaldflächen und geschützte produktive Wälder in den Ländern der borealen Zone

Land	Waldfläche in Mio. ha	Naturwälder in Mio. ha	Anteil Naturwälder in %	Anteil geschützter Wälder an produk- tiver Waldfläche in %
Kanada	453	247	60	3,0
Rußland	944	444	47	0,3
Finnland	20	0,4	2	1,5
Schweden	24	< 1,2	< 5	2,6
Norwegen	8	k. A.	k. A.	0,3

Quelle: TRN 1993

Tabelle 2.5

Bedeutung verschiedener Waldfunktionen innerhalb der nationalen Waldnutzungsplanungen
(in Prozent der Waldfläche)

Land	Wald- fläche	Boden/Land- schaftsschutz			Wasserschutz			Naturschutz			Erholung		
	Mio. ha	h	m	g	h	m	g	h	m	g	h	m	g
		%											
Norwegen	9,6	2	25	73	—	5	95	1	9	90	10	85	5
Schweden	24,4	—	1	99	—	—	100	4	96	—	17	54	29
Finnland	20,1	—	—	100	—	—	100	3	1	96	—	2	98
ehemalige UdSSR	941,0	9	15	76	7	17	76	—	19	81	2	11	87

h: hohe Bedeutung, offiziell ausgewiesen oder starke Nutzung, starke Restriktionen für andere Funktionen
m: mittlere Bedeutung oder regelmäßige Nutzung, z. T. Restriktionen für andere Nutzungen
g: geringe Bedeutung, keine speziellen Vorschriften
Quelle: UN-ECE/FAO 1993

Eine Erhebung der UN-ECE/FAO belegte, daß die Schutzfunktion der Wälder im Rahmen der nationalen Waldnutzungsplanung bislang eine untergeordnete Rolle spielt. Auf nur 2 % der norwegischen Waldfläche und 9 % der Waldfläche in der ehemaligen Sowjetunion wird dem Boden- und Landschaftsschutz oberste Priorität eingeräumt. Der Naturschutz hat in Norwegen auf 1 %, in Schweden und Finnland auf 4 bzw 3 % der Waldfläche eine hohe Bedeutung (Tab. 2.5). Die nicht monetarisierbaren Leistungen werden jedoch mehr und mehr anerkannt und sollen in Zukunft stärker berücksichtigt werden (UN-ECE/FAO 1993).

2.5 Die Beeinflussung der borealen Wälder durch den Menschen

Die im Kapitel 2.2 behandelten natürlichen Störfaktoren Feuer und Schädlingsbefall werden seit dem vergangenen Jahrhundert mehr und mehr durch

anthropogene Störungen der Waldökosysteme überlagert. In der vorindustriellen Zeit trat eine maßgebliche Beeinflussung der borealen Ökosysteme durch den Menschen nur entlang der Südgrenze, vor allem in Skandinavien, auf. Im Mittelalter steigerte sich hier die Nachfrage nach Brennholz für das Schmelzen von Sumpfeisenerz sowie die Salz- und Holzteergewinnung. Später bestand großer Bedarf an Qualitätsholz für den Schiffsbau. Im 16. und 17. Jahrhundert führte die Ausweitung des Grubenbaus (Silber und Kupfer) und der Eisenverhüttung zu einem weiteren Anstieg des Holzbedarfs. In der Folgezeit kam es zur fortschreitenden Zerstörung fennoskandischer Wälder, die bis zur Mitte des 19. Jahrhundert stark reduziert wurden. Aufgrund des weiterhin steigenden Holzbedarfs infolge der Industrialisierung ging man danach zu einer planmäßigen Waldbewirtschaftung über, die zu einer erneuten Ausdehnung der Waldflächen bis heute geführt hat (Abb. 2.2).

In Sibirien, Alaska und Kanada setzte ein spürbarer Einfluß des Menschen erst im 18. Jahrhundert ein.

Zunächst dehnte sich der kommerzielle Holzeinschlag aus, zum Ende des letzten Jahrhunderts kam es in Nordwestkanada und Alaska als Folge des Goldrausches zur Nutzung der Wälder. In den schwer zugänglichen Gebieten Sibiriens und Nordamerikas beschränkt sich die Nutzung auf die Einzugsbereiche der Flüsse und Eisenbahnen. Die riesigen natürlichen Holzvorräte in den Wäldern, die die Nachfrage bei weitem übertrafen, vermittelten in Kanada und der früheren Sowjetunion die Vorstellung einer unbegrenzt vorhandenen Ressource. Eine mit der europäischen vergleichbare nachhaltige Forstwirtschaft hat sich aus diesem Grunde erst in Teilen entwickelt.

Auch heute sind weite Teile der borealen Wälder in Kanada und Sibirien vom Menschen unberührt. Andererseits treten z. B. in Rußland regional erhebliche Probleme bei der Versorgung mit Holz auf. Die Grenze der nachhaltigen Nutzung ist dort überschritten worden (Kuusela 1992).

Bis vor wenigen Jahrzehnten waren die menschlichen Eingriffe in die borealen Wälder und deren Folgen nur von lokalem und regionalem Interesse. Erst etwa ab 1960 dehnen sich im Zuge der infrastrukturellen Erschließung und der sich ausweitenden Forst- und Holzwirtschaft die genutzten Flächen rapide aus. Neben dem Ausmaß und der Art der forstwirtschaftlichen Nutzung und einer Zunahme der Feuer führen regional sehr starke Emissionen aus der Industrie zu

einer massiven Schädigung der Wälder. Ferner wirkt sich die fortschreitende Erschließung der borealen Zone für die Gewinnung von Bodenschätzen, die Anlage von Industrieanlagen und Großstauseen negativ auf die Waldbestände aus.

In der Summe bewirken diese vielfältigen Einflüsse eine erhebliche Gefährdung der borealen Wälder, vor allem in der ehemaligen Sowjetunion. Sie führen zu einer Verminderung der Bestockung, vermindern in einigen Regionen die ökologische Stabilität und verringern die Kohlenstoffaufnahme Kapazität der Wälder. Die nichtbestockten Waldflächen haben sich laut nationaler Forststatistiken mittlerweile auf 150 Mio. ha ausgeweitet und nehmen trotz verstärkter Aufforstungsbemühungen zur Zeit nur sehr langsam ab (Shubin 1992, Forestry Canada 1992b, Cayford 1990). Inwieweit tatsächliche Waldverluste in der borealen Zone auftreten ist auf der Grundlage der vorhandenen Daten nur schwer abzuschätzen. Ein Großteil der nicht oder nicht ausreichend bestockten Waldfläche befindet sich zur Zeit in einem frühen Sukzessionsstadium und wird sich möglicherweise in absehbarer Zeit wieder vollständig bewalden. Kuusela (1992) schätzt, daß derartige Sukzessionsflächen in der borealen Waldzone rund 140 Mio. ha einnehmen. Andererseits behindern in einigen Regionen nicht nachhaltige Forstmethoden und eine Zunahme der Waldbrände die Wiederbewaldung.

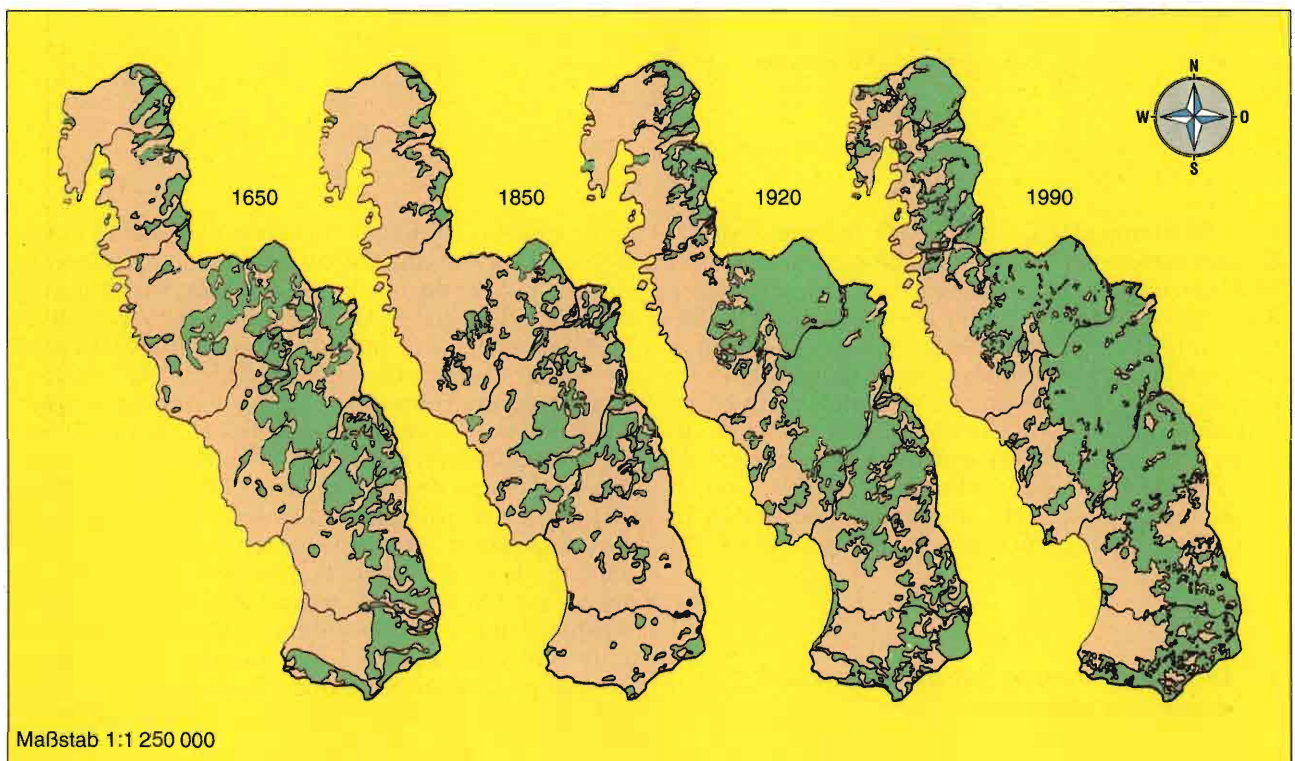


Abbildung 2.2: Veränderung der Bewaldung in der Provinz Halland (Schweden) über einen Zeitraum von 300 Jahren
Quelle: Wastenson 1990

2.5.1 Holzeinschlag

Als Ernteverfahren hat sich in den borealen Wäldern der Kahlschlag durchgesetzt. Im Gegensatz zu einer selektiven Erntemethode werden dabei alle Bäume der Hiebfläche eingeschlagen. Dieses Ernteverfahren ist technisch einfach durchzuführen und zudem kostengünstig. In der gesamten borealen Waldzone werden pro Jahr mindestens 3 Mio. ha durch Kahlschlag abgeholzt. Anhand des offiziellen Gesamteinschlagsvolumen von jährlich 500 bis 600 Mio. m³ läßt sich jedoch ableiten, daß die tatsächliche Kahlschlagfläche über diesem Wert liegt.

Bei einer an die ökologischen Bedingungen angepaßten Flächenbegrenzung und der Einhaltung ausreichender Regenerationszeiten sind die Wirkungen des Kahlschlags auf das Ökosystem denen von natürlichen Bränden und Schädlingsbefall ähnlich. Allerdings verbleibt auf den abgeernteten Flächen im Gegensatz zu natürlich entstandenen Kahlfeldern häufig kein hochwertiger Baumbewuchs mehr, was zu einer Beeinträchtigung der Verjüngung führen kann. Nach Bränden bleiben in der Regel Teile der

ursprünglichen Baumvegetation erhalten. Dies drückt sich auch im Vergleich der Entwicklung des Kohlenstoffpools nach einem Brand und nach dem Kahlschlag aus. Eine computergestützte Ermittlung der Entwicklung des Kohlenstoffpools nach Kahlschlag bzw. Feuer, die von Harmon u. a. (1990) für die nordamerikanischen Küstenwälder durchgeführt wurden, zeigt, daß die in Biomasse und Böden gespeicherte Kohlenstoffmenge durch Kahlschlag wesentlich stärker und nachhaltiger reduziert wird als durch Brände. Erst nach 100 bis 150 Jahren stellen sich die gleichen Bedingungen ein, weitere 50 bis 100 Jahre später ist der Ursprungszustand wieder erreicht.

Die Ergebnisse von Harmon u. a. (1990) sind sicherlich nicht als repräsentativ für die gesamten borealen Wälder anzusehen, zeigen jedoch das Potential der Kohlenstofffreisetzung durch Kahlschlag auf. Eine empirische Bestätigung dieser Modellrechnung steht noch aus. Johnson (1992) kam bei seiner Auswertung der bislang veröffentlichten Untersuchungen über die Veränderung des Bodenkohlenstoffs durch anthropogene Eingriffe in den Wäldern zu dem Schluß, daß es

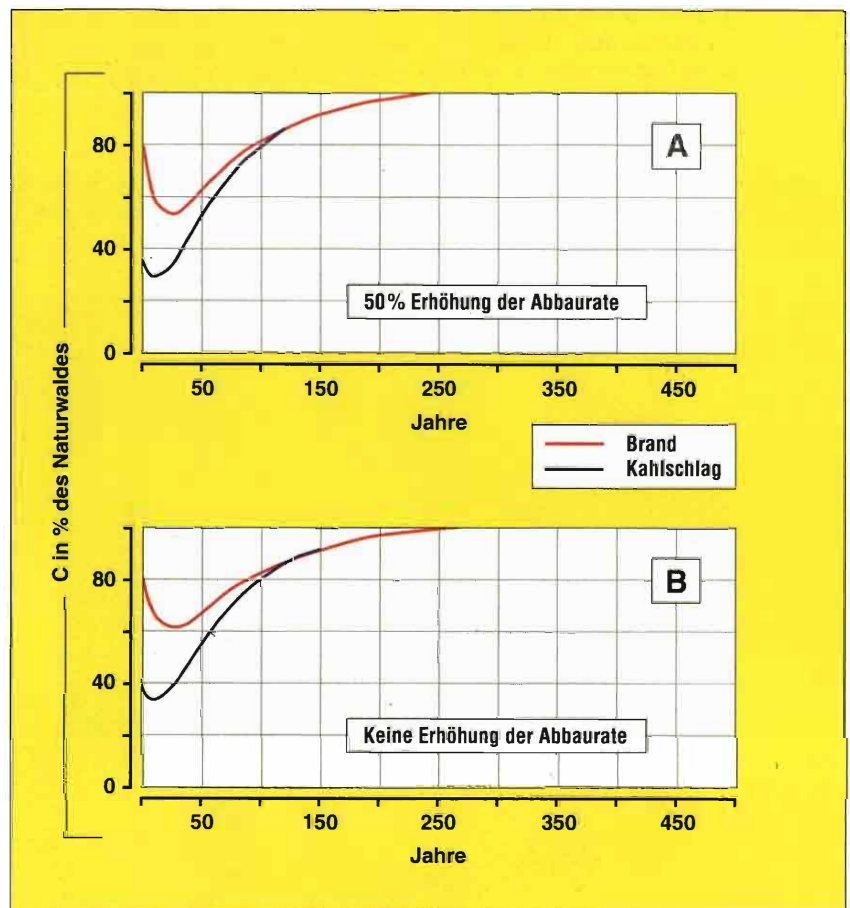


Abbildung 2.3: Entwicklung der Kohlenstoffspeicherung in Waldbiomasse und -böden nach einem Brand und nach Kahlschlag

Die Abbildung zeigt die Ergebnisse einer Computer-Simulation für einen natürlichen alten Wald mit Douglasie und Hemlocktanne. Es wurden zwei Szenarien gerechnet: (A) Die Vernichtung des Baumbestandes führt zu einer 50%igen Erhöhung des Humusabbaus; (B) Der Humusabbau bleibt unverändert.

Quelle: Harmon u. a. 1990

keine eindeutigen Anhaltspunkte für eine Abnahme des Kohlenstoffgehaltes durch Einschlag gibt.

Durch Kahlschlagverfahren werden zudem die in den Bäumen gespeicherten Nährstoffmengen abtransportiert und die im Totholz und Humus gespeicherten Nährstoffe nicht in gleichem Maße freigesetzt wie durch Brände. Dadurch sind die Keimungsbedingungen schlechter. Der wesentlichste Unterschied sind die durch den Maschineneinsatz hervorgerufenen Bodenschäden, die regional zu einer erheblichen Verschlechterung der Standortbedingungen führen. Die nachteiligen Auswirkungen der Kahlschläge haben sich innerhalb der letzten beiden Jahrzehnte durch die zunehmende Maschinisierung und die damit verbundene Vergrößerung der durchschnittlichen Kahlschlaggröße generell erhöht. Mittlerweile sind jedoch in einigen Provinzen Kanadas maximale Kahlschlaggrößen gesetzlich vorgeschrieben worden. Dessenungeachtet stellt sich die Frage, ob und in welcher Form der Kahlschlag generell als an die natürlichen Bedingungen der borealen Zone angepasste Erntemethode gelten kann (Diem 1993).

Das Ausmaß der ökologischen Folgen ist einerseits von der Größe der kahlgeschlagenen Fläche sowie der Sorgfalt bei der Ernte und andererseits von den naturräumlichen Bedingungen abhängig. Entsprechend treten Zonen auf, in denen Kahlschläge bis zu einer gewissen Größe relativ problemlos durchgeführt werden können. Beispiel hierfür sind die ausgedehnten Schwarzfichten-Reinbestände in Quebec. Das ebene Gelände und die Fähigkeit der Schwarzfichte, sich vegetativ zu vermehren, fördern eine Wiederbe- waldung ohne Baumartenwechsel (Doucet 1992).

Kahlschlag kann auch das Vordringen von forstwirtschaftlich wichtigen Klimaxarten begünstigen. So wachsen auf den ehemaligen Kiefernflächen in West-norwegen und im europäischen Teil der ehemaligen UdSSR nach Kahlschlag vornehmlich Fichten.

Regional treten jedoch im Zusammenhang mit einer großmaßstäbig betriebenen Kahlschlagwirtschaft eine Reihe von zum Teil schwerwiegenden ökologischen Schäden auf, die sich nicht nur landschaftsökologisch, sondern auch forstwirtschaftlich negativ auswirken (Abb. 2.4.).

Durch die übliche Kahlschlagpraxis werden im wesentlichen die Bodenverhältnisse und das Mikroklima verändert. So bewirkt der Einsatz der Erntemaschinen eine Verdichtung und Störung der Bodenstruktur. Darüber hinaus wird der Boden durch die Entfernung der Vegetationsdecke wesentlich stärker vom Sonnenlicht beschienen, wodurch sich die sommerliche Auftauzone in Permafrostgebieten vergrößert. Die stärkere Erwärmung des Bodens hat auch einen verstärkten Abbau der Humusaufgabe und die Freisetzung der in ihr gespeicherten Nährstoffe zur Folge. Umgekehrt erhöht sich jedoch auch die Abstrahlung, so daß auf Kahlflächen nachts und im Winter kältere Temperaturen herrschen als im Wald. Im Sommer erhöht sich mit der Oberflächentemperatur die Verdunstungsrate, was in relativ trockenen Gebieten die Wuchsbedingungen negativ beeinflusst.

Die Veränderung des Mikroklimas und der Bodenverhältnisse wirkt sich direkt auf den Wasserhaushalt aus. Die rasche Schneeschmelze und die Verringe-

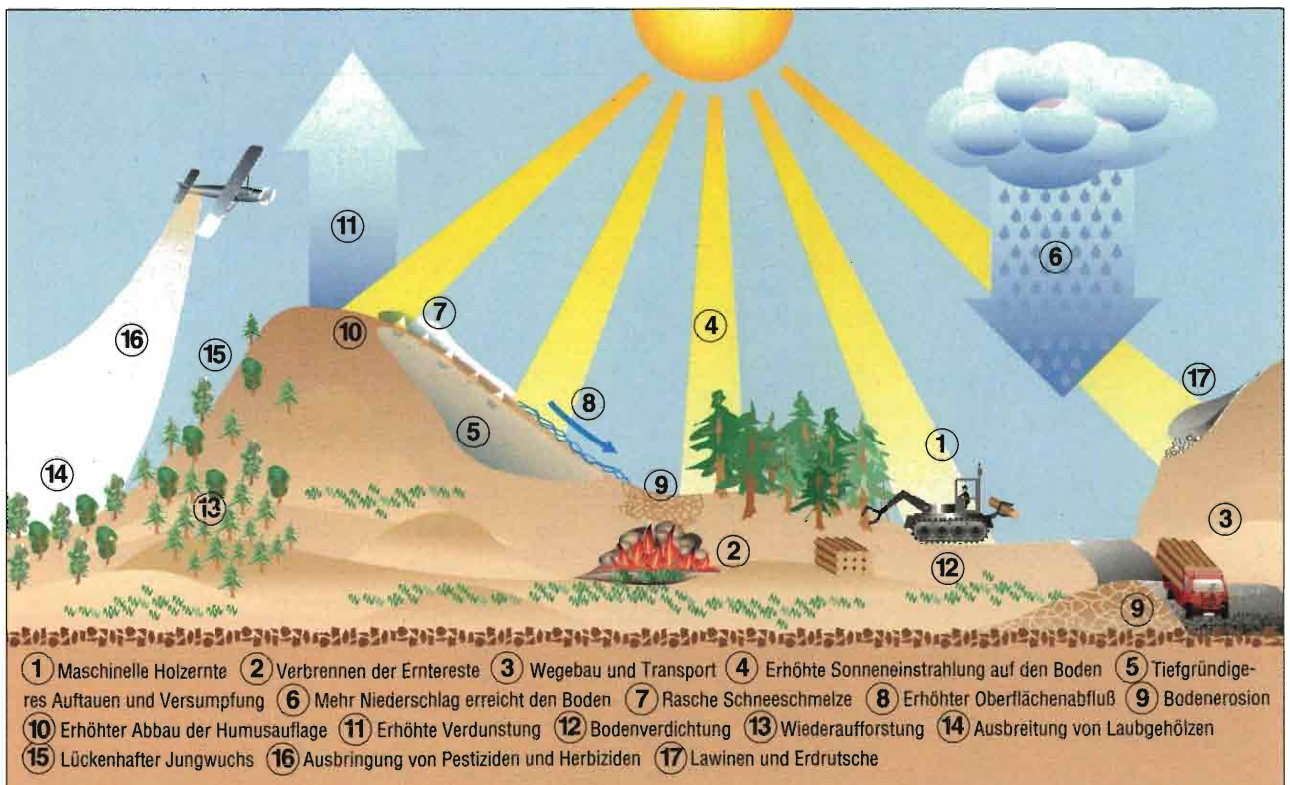


Abb. 2.4: Schematische Darstellung der Eingriffe und der möglichen ökologischen Folgen der Kahlschlagwirtschaft

rung der Infiltrationsrate in die Böden erhöht den Oberflächenabfluß. Diem (1993) beschreibt, daß 1 ha nackter Boden nach unpfleglichem Kahlschlag 62 500 l Regenwasser aufnehmen kann, Boden mit Gras- oder Buschvegetation fast 300 000 l, ein Waldboden dagegen 1,1 Mio. l. Die Folge ist eine drastische Erhöhung der Versumpfung bzw. der Erosionsgefahr. Im schlimmsten Fall kann es zu erheblichen Erdrutschungen kommen, so daß Siedlungen und Infrastruktureinrichtung gefährdet werden. Verstärkt wird diese Gefahr durch den in hügeligen Regionen problematischen Bau der Erschließungswege. Die Bodenerosion nach einem Kahlschlag führt zumindest kurzzeitig zu einer Verschlämmung der Gewässer und beeinträchtigt die Lebensbedingungen der Wasserlebewesen, z. B. Laichgebiete von Lachsen.

Zur Kahlschlagwirtschaft gehören auch die Bemühungen zur Wiederaufforstung, die häufig durch die landschaftsökologischen Schäden erheblich erschwert werden oder gar scheitern. Bei mangelnder Jungbestandspflege werden Aufforstungen durch die sich rasch ausbreitenden Laubholzarten aus forstwirtschaftlicher Sicht entwertet. Um dies sowie den Schädlings- und Krankheitsbefall zu verhindern, werden in einigen Regionen Biozide eingesetzt, die zu einer weiteren Belastung des Naturhaushaltes führen. Zudem liegen häufig die Erfolgsquoten der Aufforstung bei unter 60 %, so daß eine nicht hinreichende Neubestockung erfolgt bzw. die unbestockte Waldfläche zunimmt (Diem 1993, Maydell und Cejchan 1991).

Angesichts der riesigen Ausdehnung der borealen Wäldern wurde bislang diesen ökologischen Folgewirkungen zu wenig Aufmerksamkeit gewidmet. Inzwischen haben sie, wie im folgenden erläutert werden wird, ein Ausmaß angenommen, das nicht nur aus ökologischer, sondern auch aus ökonomischer Sicht ein Umdenken erforderlich macht.

2.5.2 Feuer und Schädlingsbefall

Die Eingriffe des Menschen in das Ökosystem der borealen Wälder haben Rückwirkungen auf das für diese Vegetationsform typische Auftreten von Bränden und Schädlingen. Durch die zunehmende Erschließung der borealen Zone werden in bewirtschafteten Gebieten inzwischen die meisten registrierten Brände durch menschliches Fehlverhalten ausgelöst (Poker 1994 a, Maydell und Cejchan 1991). Dies bewirkt, daß Zeitpunkt, Häufigkeit und Ort von Waldbränden nicht mehr den natürlichen Bedingungen entsprechen und eine höhere Schadwirkung auf die Vegetation bewirken.

Paradoxe Weise haben teilweise auch die Brandschutzbemühungen der vergangenen Jahrzehnte zu einer Zunahme vor allem der Brandintensität geführt, da sich zum einen der Anteil an überreifen Wäldern erhöht und zum anderen in den Wäldern in großem Maße Totholz angesammelt hat. Dies führte dazu, daß Waldbrände erheblich schwerer unter Kontrolle zu bringen waren und daher größere Schäden anrichteten.

Das Ausmaß von durch Blitzschlag oder den Menschen verursachten Waldbränden variiert in Abhängigkeit von auftretenden Trockenzeiten von Jahr zu Jahr erheblich. Ferner ist es gerade in den weitgehend unbesiedelten Gebieten Sibiriens und Nordamerikas unmöglich, alle Brände zu erfassen. Unstrittig ist jedoch die rapide Zunahme der Feuer innerhalb der letzten Jahrzehnte. Es wird geschätzt, daß in der ehemaligen Sowjetunion und Kanada jährlich im Durchschnitt bis zu 8,5 Mio. ha Wälder in Flammen aufgehen. Das sind etwa 0,7 % des Bestandes (Poker 1994 a). Zudem verringert sich in den gut erschlossenen Gebieten die Feuerrotation. Häufig wiederkehrende Brände behindern eine Neubestockung der Brandfläche in erheblichem Maße und sind inzwischen in einigen Gebieten der borealen Zone zu einer ernsthaften Bedrohung für die Wälder geworden (vgl. Kap. 2.6.2 und 2.7.2).

Ähnlich verhält es sich mit der Ausbreitung von Schädlingen und Krankheiten. Durch die einheitliche Bestockung wird die Massenvermehrung von Schädlingpopulationen in der borealen Zone gefördert. Großflächiger Schädlingsbefall gehört daher zu den natürlichen Prozessen in borealen Waldökosystemen. Durch die forstwirtschaftlichen Eingriffe kann sich die Schädlingwirkung vergrößern. Im wesentlichen sind dafür die Ausweitung von Reinbeständen bzw. die direkte und indirekte Förderung leicht anfälliger Baumarten (z. B. Balsamtanne in Kanada) durch Kahlschlagwirtschaft, Feuerbekämpfung und Anpflanzung verantwortlich (Blais 1983).

Die von Schädlingen und Krankheiten heimgesuchten Waldflächen sind kaum zu erfassen. Im Durchschnitt dürften in der ehemaligen UdSSR rund 5 Mio. ha von Schädlingen befallen sein. In Kanada sind aktuell knapp 8 Mio. ha Wald vom Fichtentriebwickler, dem bedeutendsten Schädling in den kanadischen Wäldern, befallen. Im Jahr 1970 lag dieser Wert bei 55 Mio. ha. Die starke Reduktion ist auf den Einsatz von Pestiziden (anfänglich DDT, inzwischen biologische Pestizide) zurückzuführen. Analog zur Unterdrückung von Bränden kann auch die Schädlingbekämpfung zur Überalterung und Destabilisierung von Beständen führen. Im Interesse der Erhaltung von Waldbeständen kann aber weder auf die Schädlingbekämpfung noch auf die Verhinderung von Waldbränden generell verzichtet werden.

2.5.3 Erschließung und industrielle Entwicklung

Neben den immensen Holzvorräten befinden sich in der borealen Zone eine Vielzahl bedeutender Rohstofflagerstätten. Zudem bietet sich hier ein erhebliches Wasserkraftpotential. Im Zuge der Industrialisierung wuchs das Interesse an einer Erschließung dieser Ressourcen. Es führte zum Bau von Verkehrslinien, Industrieanlagen, Siedlungen und Wasserkraftwerken. Im wesentlichen diente der natürliche Reichtum der borealen Zone der Versorgung des rasch ansteigenden Bedarfs an Rohstoffen und Energie in den industriellen Zentren. Dabei wurden die peripher gelegenen Gebiete als „Warenlager“ (Lenz 1990) für Pelze, Holz, Bodenschätze und Wasserkraft angese-

hen. In der ehemaligen Sowjetunion versuchte man zwar, industrielle Produktionskomplexe in der Nähe der Rohstofflagerstätten zu etablieren, doch führten die erzielten Ergebnisse unter den gegebenen politischen und ökonomischen Zwängen zu großen ökologischen Schäden. Deren in einigen Regionen katastrophales Ausmaß wird erst jetzt überschaubar, insbesondere nachdem der Zugang zu ehemaligen Sperrgebieten möglich wurde.

In Kanada dient das erhebliche Nutzpotalential des borealen Nordens der kanadischen und der lokalen Bevölkerung sowie der Bedienung der Nachfrage in den Zentren Nordamerikas sowie auf dem Weltmarkt. Der Zwang, die Produktionskosten möglichst niedrig zu halten, hat ökologische Gesichtspunkte häufig in den Hintergrund treten lassen.

Die industrielle Erschließung wirkt sich in vielfacher Weise auf die Wälder aus. Zum einen finden Rodungen zum Bau von Transportsystemen (Eisenbahnen, Straßen, Leitungsnetze), Industriebetrieben und Siedlungen statt. Zum anderen erhöht sich entlang der Erschließungsachsen und im Umland der industriellen Konzentrationspunkte die Nutzung der Wälder und ihre Belastung mit Schadstoffen. Der Landnutzungswandel spielt eine untergeordnete Rolle in der borealen Waldzone. Die Größe der Waldfläche verändert sich daher kaum. Die fortschreitende Ausbeutung der Ressourcen führt jedoch in vielen Gebieten zu einer erheblichen qualitativen Verschlechterung des Waldzustandes. Besorgniserregend sind die erheblichen Schadstoffemissionen vor allem in der ehemaligen Sowjetunion. Darüber hinaus hat die weitgehende Erschließung des Wasserkraftpotentials zur Anlage einer Vielzahl großer Stauseen und Überflutung von Waldflächen geführt.

Wie groß die direkt und indirekt durch die Erschließung und industrielle Entwicklung betroffene Waldfläche ist, kann nicht abgeschätzt werden. Sowohl in Rußland als auch in Kanada ist jedoch von einem Fortschreiten der Erschließungsmaßnahmen auszugehen, so daß die heutigen Anteile der weitgehend vom Menschen unberührten Waldflächen von 50 % in Zukunft weiter sinken wird. Problematisch wird dies insbesondere in den ökologisch sensiblen Bereichen der Gebirgsregionen und Übergangszonen zur Tundra bzw. Steppe.

Die Erschließung der peripheren borealen Gebiete ist mit gravierenden sozialen Problemen verbunden. Die in und von den Wäldern lebenden zumeist ursprünglichen Gesellschaften partizipieren nur zum Teil an der wirtschaftlichen Entwicklung. Insbesondere Völker, die ihre traditionelle Lebensform beibehalten wollen, werden nicht selten ihres Lebensraumes und ihrer Existenzgrundlagen beraubt. Diese Konflikte verschärfen sich vor dem Hintergrund eines gestiegenen Selbstbewußtseins der Ureinwohner seit geraumer Zeit sowohl in Kanada als auch in der ehemaligen Sowjetunion.

Art und Weise der Erschließung der borealen Zone haben in hohem Maße zu einem ausgeprägten Zentrum-Peripherie-Gefälle geführt. Rohstoffe und Energie werden weitgehend für die wirtschaftliche Entwicklung der industriellen Kernzonen verbraucht, die

negativen externen Effekte in Form von Umweltschäden und sozialen Konflikten legen sich wie ein „Schatten“ (MacNeill u. a. 1991) über die peripheren Räume. Andererseits wird in Kanada der Norden mit seinen Wäldern, Gewässern und Felsen als bewahrenswerter Teil der Nation immer mehr anerkannt. Darauf aufbauend kann sich ein umwelterhaltender Umgang mit den natürlichen Ressourcen der borealen Zone entwickeln (Lenz 1990).

2.6 Waldnutzung und -gefährdung in der ehemaligen Sowjetunion

Die Inventurergebnisse aus dem Jahr 1988 weisen für die damaligen Sowjetrepubliken insgesamt eine Waldfläche von 941 Mio. ha, davon 814 Mio. ha bestockt, aus. Alleine auf Rußland, dem mit etwa einem Viertel der globalen Holzvorräte walddreichsten Land der Erde, entfielen 771 Mio. ha, davon 676 Mio. ha bestockt (Staatsforstkomitee der UdSSR 1990). Mit Ausnahme eines geringen Anteils an Wäldern der gemäßigten Breiten, gehört der Waldbestand zur borealen Zone. Etwa die Hälfte sind Primärwälder. Immer größer werden jedoch die Flächen, die direkt und indirekt vom Menschen beeinflusst werden und auf denen der Wald in Mitleidenschaft gezogen oder gar vernichtet wird. Einen Überblick über die räumliche Verteilung der wichtigsten Einschlagsgebiete sowie die Regionen mit hohen Schadstoffemissionen vermittelt die Abbildung 2.5.

2.6.1 Forst- und Holzwirtschaft in der ehemaligen Sowjetunion

Über den Umfang der forstwirtschaftlichen Nutzung in den Staaten der ehemaligen Sowjetunion liegen z. T. widersprüchliche Daten vor (vgl. Kap. 2.4.3). Laut FAO (1993b) sind die Staaten der ehemaligen Sowjetunion mit einem Einschlagsvolumen von etwa 350 Mio. m³ hinter den USA die zweitgrößten Holzproduzenten der Welt. Etwa ein Viertel des Holzes wird als Brennstoff eingesetzt, der Rest überwiegend zu Schnittholz verarbeitet. Die Produktion von Zellstoff und Papier/Karton nimmt mit jeweils etwa 9 Mio. t Jahresproduktion noch einen vergleichsweise geringen Stellenwert ein. An der weltweiten Zellstoffproduktion ist die frühere UdSSR mit etwa 6 %, an der Papiererzeugung mit ca. 4 % beteiligt. Die Holzprodukte sind überwiegend zur eigenen Bedarfsdeckung bestimmt, nur wenige % werden exportiert. Die Gesamtproduktion ist zwischen 1982 und 1991 in etwa konstant geblieben, in einigen Bereichen waren Produktionsrückgänge zu verzeichnen (Tab. 2.6).

Die Bewirtschaftung und Verwaltung des sowjetischen Waldfonds (insgesamt etwa 1,2 Mrd. ha) oblag dem Staatskomitee für Wald („Goskomles“), das unter anderem die jährlichen Einschlagsquoten und die Holzpreise festsetzte. Ausnahmen dieses in hohem Maße zentralistisch gesteuerten Systems bildeten die knapp 90 Mio. ha, die zur langfristigen Nutzung an Dritte — meist landwirtschaftliche Betriebe — übergeben wurden.

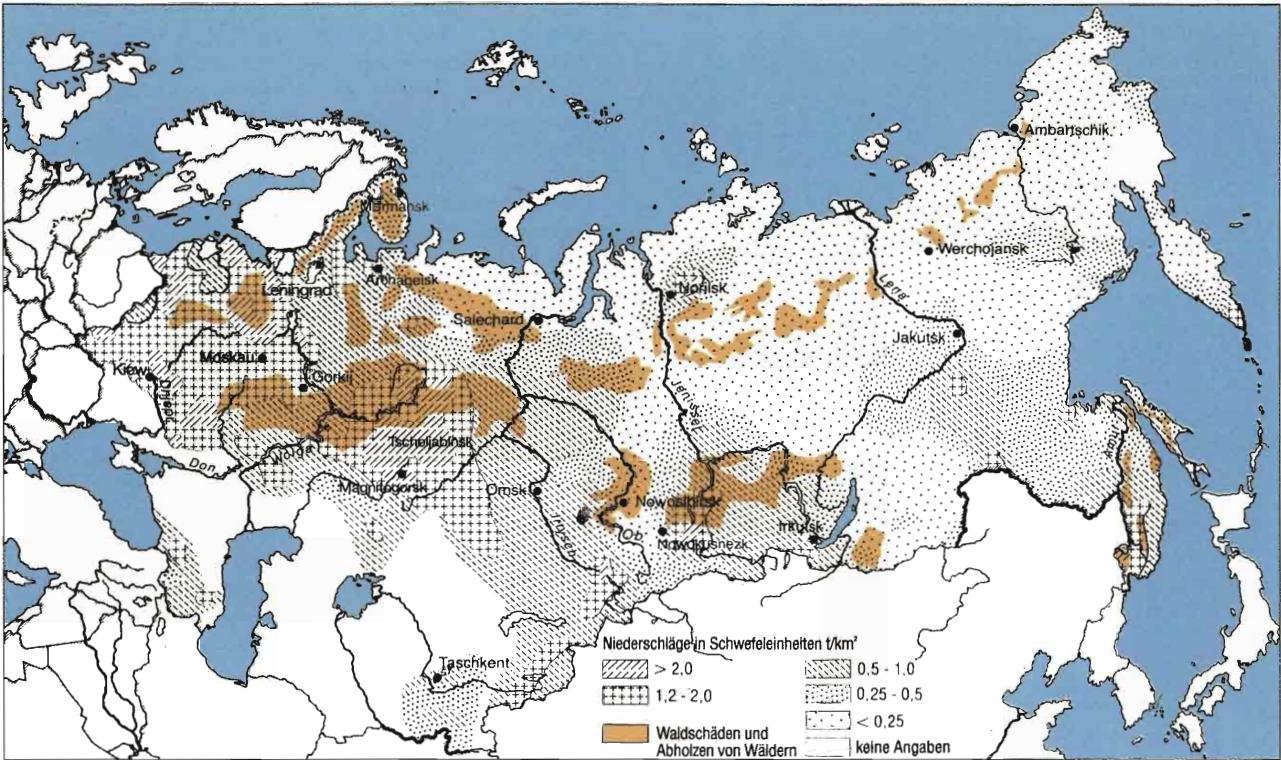


Abbildung 2.5: Abholzung und Schadstoffbelastung der Wälder in der ehemaligen Sowjetunion
Nach: Weißenburger 1990, Feshbach und Friendly 1992

Mit dem Zusammenbruch der Sowjetunion begann auch für die Forst- und Holzwirtschaft eine Umbruchphase. Das Staatskomitee für Wald wurde am 1. Januar 1993 durch föderale Forstdienste bzw. Forstministerien in den Nachfolgestaaten ersetzt (Cejchan 1993). Bereits zuvor waren Umstrukturierungen eingeleitet worden (Issajew 1990). Oberstes Ziel war dabei die Förderung einer nachhaltigen Bewirtschaftungsform durch eine stärkere Eigenverantwortung der Forstbetriebe. Zudem wurde der Forstbereich für

ausländische Investitionen geöffnet und der Holzpreis an den Weltmarkt angepaßt. Die Folgen dieser Reformen sind heute kaum abzuschätzen. Es ist jedoch anzunehmen, daß sie vor allem in Sibirien zu einer erheblichen Ausweitung des Einschlags geführt haben (Petrof 1992). Diese relativ jungen Entwicklungen stellen zusammen mit der seit längerem bekannten ineffizienten und häufig unsachgemäßen Form der Forstwirtschaft in der ehemaligen Sowjetunion eine erhebliche Gefährdung vor allem der borealen Wä-

Tabelle 2.6

Produktion und Export von Holz, Zellstoff, Papier und Karton in der ehemaligen Sowjetunion
im Zeitraum von 1982 bis 1991

Produkt	1982		1985		1988		1991	
	Prod.	Export	Prod.	Export	Prod.	Export	Prod.	Export
Einschlag (Mio. m³)	355,9	—	368,0	—	385,4	—	355,4	—
Brennholz (Mio. m³)	83,3	—	86,8	—	81,1	—	81,1	—
Nutzholz (Mio. m³)	272,6	13,6	281,2	15,5	304,3	20,5	274,3	14,6
Säge- und Furnierholz (Mio. m³)	149,4	6,2	154,1	7,8	167,3	8,8	137,3	5,8
Schnittholz (Mio. m³)	97,5	7,4	98,2	7,7	104,8	8,2	75,5	4,8
Faserholz (Mio. m³)	37,1	6,2	38,3	7,1	41,6	10,9	41,6	8,2
Zellstoff (Mio. t)	9,2	0,9	10,4	1,0	10,6	1,1	8,7	0,6
Papier und Karton (Mio. t)	9,0	1,0	10,0	1,1	10,9	1,1	9,6	0,9

Quelle: FAO 1993 b.

der dar, die im folgenden eingehender betrachtet werden soll.

Die erschlossenen und nutzbaren Waldflächen in der ehemaligen Sowjetunion vergrößerten sich zwischen 1966 und 1987 von 343 auf 406 Mio. ha. Etwa die Hälfte des sog. „Exploitationsfonds“ entfällt auf die fast vollständig erschlossenen Wälder im europäischen Teil und dem Ural, wo nur 28 % des Holzvorrates stocken, aber 60 % des Schnittholzes und 90 % der Zellulose bzw. der Spanplatten produziert werden (Bemmann 1990, Treter 1990b). Nach offiziellen Angaben wurden 1990 zwar nur 37 % des Exploitationsfonds tatsächlich genutzt (Schwidenko u. a. 1992); entsprechend bleibt das Einschlagsvolumen theoretisch weit unter dem jährlichen Nettozuwachs von etwa 1 Mrd. m³ Holz. Diese Zahlen verschleiern jedoch die starken regionalen Unterschiede. Im westlichen Teil und in der Nähe zu wichtigen Verkehrslinien konzentriert sich der Einschlag, während weite Teile der schlecht erschlossenen Wälder aus forstlicher Sicht ungenügend eingeschlagen werden und somit überaltern.

Der jährliche Einschlag orientiert sich am zulässigen Hiebsatz für die Wirtschaftswälder. Dieser lag im Jahr 1989 bei 625 Mio. m³. Im europäischen Teil und im Uralgebiet wird der Hiebsatz fast vollständig genutzt, im Osten Rußlands werden dagegen nur 40 % der hiebreifen Bestände tatsächlich eingeschlagen. Die offiziellen Einschlagsquoten in den staatlichen Wäldern lagen für 1990 bei 400 Mio. m³ und sanken laut Auskunft von A. I. Pisarenko, Stellvertretender Vorsitzender des Bundesdienstes für Waldwirtschaft der Russischen Föderation, auf heute 200 Mio m³. Zusätzlich werden erhebliche Holzmengen in den nicht staatlichen Wäldern gewonnen. Im Jahr 1988 dürften in den rund 65 Mio. ha nichtstaatlichen Waldes über 150 Mio. m³ Holz eingeschlagen worden sein. Dies läßt auf eine starke Übernutzung schließen (Backman und Waggener 1991).

Die Angaben über die Einschlagsfläche variieren erheblich. Schwidenko (1993) schätzt sie auf etwa 2 Mio. ha/Jahr, wobei 90 % des eingeschlagenen Holzvolumens aus Kahlschlägen stammt. Barr und Braden (1988) beziffern sie auf 3,5 bis 4 Mio. ha/Jahr. Wegen der rapiden Veränderungen, vor allem in Sibirien, ist davon auszugehen, daß zur Zeit niemand, auch nicht die zuständigen staatlichen Organe, eine Übersicht über die aktuelle Entwicklung der Einschlagsflächen hat (Filipitschuk, zit. in Poker 1994a).

Genutzt werden in allererster Linie Altbestände, d. h. Primärwälder. Die übliche Form der Bewirtschaftung ist der Kahlschlag. Die durchschnittliche Kahlschlaggröße hat sich in den vergangenen Jahrzehnten aufgrund des verstärkten Einsatzes von schweren Maschinen erheblich erhöht. Sie lag 1976 in den sibirischen Wäldern bei 1 500 bis 2 000 ha. Kahlschläge führen unter günstigen Wuchsbedingungen nach etwa 3 bis 5 Jahren zur Neuausbreitung von Pionierwäldern mit Pappeln, Erlen und Birken. In Südkarelien nahm z. B. der Laubholzanteil zwischen 1847 und 1983 auf diese Weise um 156 % zu. Aus forstlicher Sicht sind diese Jungbestände von geringem Wert, sie stellen jedoch die erste Stufe der natürlichen Sukzession dar und können unter günsti-

gen Bedingungen in einen Klimaxwald mit Fichten, Kiefern und Tannen übergehen. Unter ungünstigen natürlichen Bedingungen, wie sie in den Übergangsbereichen zur Tundra und Steppe sowie in weiten Teilen Sibiriens herrschen, sowie bei unpflegerlicher Ausführung des Kahlschlages, treten jedoch erhebliche Probleme bei der Naturverjüngung auf. Große Flächen bleiben daher für Jahrzehnte unbewaldet, und es ist häufig nicht abzuschätzen, ob auf ihnen überhaupt eine Neubegründung stattfinden wird. Insbesondere durch die „rücksichtslosen Einschlagpraktiken“ (Maydell 1990) der industriellen Holzeinschlagsbetriebe („Lespromchosen“) werden oftmals bis zu 80 % des Unterwuchses vernichtet, was die Verjüngung maßgeblich erschwert.

Etwa 0,7 Mio. ha der mindestens 2 Mio. ha großen Einschlagsfläche werden künstlich wiederaufgeforstet (Schwidenko 1993). Schlechtes Saatgut, mangelnde Sorgfalt und die hohe Anfälligkeit der „Holz-Zucht-Wälder“ gegenüber Krankheiten und Schädlingen führen jedoch zu unbefriedigenden Ergebnissen. Backman und Waggener (1991) gehen davon aus, daß nur ein Drittel der künstlichen Aufforstungen erfolgreich ist. Auch auf den natürlichen Verjüngungsflächen (ca. 1,5 Mio. ha) lassen Qualität und Anwuchsprozente deutlich zu wünschen übrig. Zwar reduzierte sich die unbestockte Waldfläche in der ehemaligen Sowjetunion seit Mitte der 60er Jahre um ca. 200 000 ha/Jahr auf 106 Mio. ha, doch dürften dafür, neben einer Änderung der für die nationale Inventur geltenden Wald-Definition, vor allem die massiven Aufforstungen in den südlichen Staaten der ehemaligen Sowjetunion verantwortlich sein.

Die Forst- und Holzwirtschaft in der ehemaligen Sowjetunion ist durch einen hohen Grad an Ineffizienz gekennzeichnet. Petrof (1992) schätzt, daß die Hälfte der eingeschlagenen Bäume keiner Nutzung zugeführt werden, sondern auf den Einschlagsflächen verrotten bzw. während des Transports auf den Flüssen verlorengehen. Dieser Umstand ist einer der Gründe für den in einigen Regionen bereits seit Jahren herrschenden Holzmangel im walddreichsten Land der Erde. Er bewirkt außerdem, daß unnötig viele neue Flächen in die Nutzung einbezogen werden. Zudem stören die in den Flüssen abgetriebenen Baumstämme den Betrieb der Wasserkraftwerke und belasten die Gewässer mit Phenolen, die bei der Lösung der Harze freigesetzt werden (Cejka 1992).

Erhebliche Probleme resultieren auch aus der starken Konzentration der Forst- und Holzwirtschaft im europäischen Teil und im Uralgebiet. Der zulässige Hiebsatz wird hier weitgehend ausgeschöpft. Bezogen auf die Nadelwälder, auf die sich die Nutzung konzentriert, wird er weit überschritten. Diese Übernutzung hat z. B. im Uralgebiet dazu geführt, daß der durchschnittliche Vorrat der hiebreifen Bestände zwischen 1961 und 1983 von 210 m³ auf 191 m³ absank. Zudem verringert sich der Anteil an exploitierbaren Wäldern sehr schnell. Im Gebiet Jekaterinburg und Perm waren 1961 noch 58 % der Waldfläche exploitierbar, heute ist der Anteil nur noch halb so groß (Luganskij u. a. 1992). In anderen Gebieten ist die Erschöpfung der hiebreifen Bestände bereits abzusehen. So dürften die Vorräte im Gebiet Archangelsk bei Fortführung

der bisherigen Nutzungsweise in 15 Jahren verbraucht sein (Orlov 1990).

Besonders drastisch wirkt sich die Holzgewinnung im Fernen Osten aus. Maydell und Cejchan (1991) berichten von der hier üblichen waldvernichtenden Holzgewinnungspraxis, die in großen Gebieten zu einem katastrophalen Zustand der Wälder geführt hat. Da ein Großteil der Wälder aufgrund ihrer Schutzfunktion, der mangelnden Zugänglichkeit und geringen Zuwachsleistung für eine forstwirtschaftliche Nutzung nicht in Betracht kamen, wurden die restlichen Wälder radikal ausgebeutet. Mindestens auf der Hälfte der hier eingeschlagenen Flächen hat sich keine Verjüngung eingestellt. Wo natürliche Verjüngung stattfindet, vergehen in der Regel 10 bis 30 Jahre bis zur Wiederbestockung. Häufig auftretende Brände erhöhen zudem die Gefahr für die Jungwälder. Ein großer Teil der exploitierbaren Holzvorräte im Süden des Fernen Ostens ist heute stark verlichtet oder erschöpft. Die degradierten Gebiete werden von den Einschlagsfirmen trotz der noch vorhandenen großen Holzvorräte verlassen. Als Ergebnis wird festgehalten, daß „der Zustand der Waldressourcen in der Wirtschaftsregion Ferner Osten heute dermaßen schlecht ist, daß die Beibehaltung bestehender Tendenzen und Methoden ihrer Nutzung unweigerlich zur irreversiblen Schädigung des Waldfonds, und folglich auch zur Zerstörung der regionalen Ökosysteme führen muß“ (Maydell und Cejchan 1991).

Zu einer Ausweitung der Waldnutzung haben die seit 1987 erlaubten „Joint Ventures“ zwischen ausländischen Firmen und russischen Vertragspartnern geführt. Es besteht weitgehende Unkenntnis über Zahl und Größe der von ausländischen Unternehmern gehaltenen Konzessionsflächen. Einige herausragende Beispiele sind jedoch bekannt. So hat ein japanisches Firmenkonsortium im Jahr 1992 mit der russischen Exportvereinigung einen Vertrag über die Lieferung von Holzbearbeitungsmaschinen gegen 6 Mio. m³ russischen Nutzholzes geschlossen. Diese Menge entspricht in etwa einer Einschlagsfläche von 64 000 ha. Eine norwegische Firma hat in der Gegend um Chabarowsk eine Konzession über eine Laufzeit von 30 Jahren erworben und plant einen jährlichen Export von 3 000 bis 5 000 m³ Holz nach Japan. Ebenfalls in Chabarowsk hat die südkoreanische Firma Hyundai eine Nutzungskonzession für mittlerweile 440 000 ha erworben. Bereits seit 1967 läuft ein Joint-Venture-Projekt mit Nord-Korea, das bis heute zur Abholzung von 1,5 Mio. ha Wald in Tschegdomyn im Fernen Osten geführt hat.

Vor Einführung des Weltmarktpreises für Holz beschränkten sich die Joint Ventures häufig auf eine vergleichsweise geringe Investition ausländischer Betriebe. Diese erhielten dadurch das Recht zur selbständigen Vermarktung eines Teils des eingeschlagenen Holzes. Dadurch konnten sie Holz sehr billig einkaufen und auf dem Weltmarkt mit Gewinn verkaufen. Die Zahl derartiger Unternehmungen wird auf etwa 3 000 geschätzt (Cejka 1992).

Die ökologischen Folgen der Einschlagmethoden sind besonders in den tundranahen Wäldern des Nordens gravierend, die ein Drittel der borealen Wälder Rußlands ausmachen. Trotz der geringen Holzvorräte in

den Beständen ist der Umfang der Kahlschlagflächen bis heute auf 25 bis 28 000 ha/Jahr angewachsen. Auf den zum großen Teil versumpften Permafrostböden haben die Waldbestände ein äußerst geringes Regenerierungspotential. Die Verjüngung verläuft sehr langsam. Drei Viertel der Waldfläche ist erosionsgefährdet. An Gebirgshängen erfolgt aufgrund von Bodenrutschungen häufig keine Wiederbewaldung (Tschibisov u. a. 1992). Auch Versuche zur künstlichen Wiederaufforstung mit Lärchen scheiterten aufgrund der schlechten Samenproduktion der Bäume (Bojcenko und Isaev 1992).

Zusammenfassung

Abschließend bleibt festzuhalten, daß sich die Waldfläche in der ehemaligen Sowjetunion laut offizieller Waldstatistik zumindest im Zeitraum von 1966 bis 1988 stetig vergrößert, gleichzeitig die Qualität der Wirtschaftswälder jedoch rapide abgenommen hat. Die wichtigsten Gründe dafür sind die unpfleghchen Forstpraktiken, der hohe Anteil nicht genutzten Einschlagholzes und die veralteten Maschinen. Maßgebliche Gründe sind ferner: die geringen Investitionen der Forstverwaltung in forstwirtschaftliche Maßnahmen (nur wenige Pfennige pro Hektar) sowie die mangelnde Kontrolle und personelle Ausstattung der Forstbehörden. Im Fernen Osten kamen auf einen Bediensteten der Forstwirtschaft 34 100 ha Waldflächen, im Durchschnitt der ehemaligen Sowjetunion war das Verhältnis 1:1700 (Maydell und Cejchan 1991, Cejka 1992).

Die Öffnung der russischen Forstwirtschaft für ausländische Unternehmen hat zudem zu einer besorgniserregenden Ausweitung des Einschlags geführt, die heute noch nicht quantifiziert werden kann. Genauere Aufschlüsse könnten durch die Auswertung der Satelliten- und Luftbilder aus den Jahren 1991 und 1992 erreicht werden. Diese soll etwa Mitte 1994 abgeschlossen sein (Filiptschuk, zit. in Poker 1994 a).

2.6.2 Gefährdung durch Feuer

In den amtlichen Statistiken ist für die ehemalige Sowjetunion eine jährliche Waldbrandfläche von knapp 1 Mio. ha in den letzten fünf Jahren angegeben worden (Davidenko 1992). Dieser Wert dürfte jedoch weit unter der tatsächlichen Brandfläche liegen. Denn Schwidenko u. a. (1990) schätzen die jährliche Brandfläche auf bis zu 2 Mio. ha, Krankina (1991) hält sogar eine Größenordnung von 3 Mio. ha/Jahr für die 80er Jahre für realistisch. Neben der erheblichen jährlichen Schwankungen sind vor allem methodische Schwierigkeiten bei der Kontrolle des riesigen Waldfonds für die ungenauen Abschätzungen verantwortlich. Ein Drittel des ehemaligen sowjetischen Waldfonds wird nicht überwacht, auf den restlichen Flächen reichen die angewandten Methoden nicht aus, um ein realistisches Bild der Feueraktivität zu erhalten. Auswertungen von Satellitenbildern einer 12,8 Mio. ha großen Waldfläche in der Region Chabarowsk im Fernen Osten belegten z. B., daß die Waldbrandfläche nicht wie bislang geschätzt 22 800 ha,

sondern 206 500 ha groß war (Maydell und Cejchan 1991). Auch in den Erdöl- und Gasfördergebieten Nordwestsibiriens und den neu erschlossenen Gebieten Nordsibiriens wird eine erhebliche Zunahme der Waldbrände registriert. Ende der 80er Jahre sind hier insgesamt rund 1,5 Mio. ha Waldfläche von Feuern heimgesucht worden. Auf der Basis dieser Abschätzungen könnte die jährliche Waldbrandfläche in Rußland sogar bei etwa 6 Mio. ha liegen (Maydell 1993).

Nur etwa 50 % der Brände sind natürlichen Ursprungs und in der Regel durch Blitzschläge verursacht (Maydell und Cejchan 1991). In den dichter besiedelten Gebieten werden die meisten Brände direkt oder indirekt durch den Menschen hervorgerufen. Auslösende Faktoren sind die Unachtsamkeit beim Verbrennen von Holzresten auf Kahlschlagflächen, Lagerfeuer, aber auch technische Defekte an Stromleitungen u. ä. (Vogt 1991).

Die erhöhte Feueraktivität führt zum Beispiel im russischen Fernen Osten dazu, daß etwa 30 % der verjüngten Flächen durch Brände verlorengehen (Maydell und Cejchan 1991). Dabei wird eine nicht quantifizierbare Menge an Kohlenstoff freigesetzt (vgl. Kap. 6).

2.6.3 Gefährdung durch die fortschreitende Erschließung Sibiriens und die Emissionen aus der Industrie

Der überwiegende Anteil der Industriestandorte der ehemaligen Sowjetunion befindet sich im Bereich der borealen Wälder. Dabei liegt das Schwerkgewicht im europäischen Teil, wo 72 % der Bevölkerung leben und 80 % der industriellen Güter gefertigt werden. Im Verlaufe dieses Jahrhunderts hat jedoch auch die Erschließung und industrielle Entwicklung Sibiriens stark zugenommen. Durch den Bau der Transsibirischen Eisenbahn (1896 bis 1905) erhielten zunächst die Städte im Süden Sibiriens erhebliche Wachstumsimpulse. Unter Stalin wurden dann neue Produktionszentren errichtet. Etwa ab 1955 begann die Sowjetregierung den Ausbau von sog. Territorialen Produktionskomplexen (TPK), die neben den Produktionsstätten auch den dazugehörigen Städtebau mit der Verkehrs- und Versorgungsinfrastruktur umfaßten. Bekannte Beispiele für die bis zum Zusammenbruch der Sowjetunion praktizierte Erschließungsstrategie sind die Industrieregionen um Bratsk, Krasnojarsk und Surgut am mittleren Ob. In den TPK sind immense Kapazitäten zumeist im Bereich der Aluminiumproduktion, Erdöl- und Erdgasförderung sowie der Holzverarbeitung geschaffen worden. Lange Zeit galten sie als „Paradepferde“ der zentral gesteuerten Planwirtschaft. Seit Mitte der 80er Jahre stellt sich jedoch mehr und mehr heraus, daß sie in den betroffenen Regionen eine wesentliche soziale, ökonomische und ökologische Belastung darstellen (Klüter und Giese 1990). Das wenig effiziente technologische Niveau, mangelnde Sorgfalt und die hohe räumliche Konzentration führte zu einer Übernutzung und einer waldvernichtenden Schadstoffbelastung (s. u.).

Einen potentiellen Einfluß auf die Waldnutzung hat auch die Fertigstellung der Baikal-Amur-Magistrale

(BAM) im Jahr 1989. Diese sollte ursprünglich die Grundlage für die großräumige Erschließung der sog. BAM-Region zwischen Bratsk und der pazifischen Küste darstellen. Finanzielle und organisatorische Mängel haben jedoch die ehrgeizigen Pläne der früheren Regierung weitgehend gestoppt (Knabe 1988). Die BAM sollte der wichtigste Transportweg für die Holzindustrie im Fernen Osten werden. Auf ihr könnten jährlich bis zu 1,4 Mrd. m³ Holz aus den weitgehend unbesiedelten Einschlagsgebieten zu den Häfen der Pazifikküste transportiert werden (Petrof 1992).

Eine besorgniserregende Schädigung der Wälder geht von den Schadstoffemissionen der kaum oder gar nicht mit Filtern ausgerüsteten Industriebetriebe und Kraftwerke aus. Im Jahr 1992 emittierte die russische Industrie 8,2 Mio. t SO₂, 6,8 Mio. t CO, 5,6 Mio. t Schwebstoffe, 4,2 Mio. t Kohlenwasserstoffe und 2,7 Mio. t Stickoxide (DIW 1994). Dazu kamen, bezogen auf 1991, 16,8 Mio. t CO, 3,2 Mio. t Kohlenwasserstoffe und 1 Mio. t Stickstoffoxide aus dem Verkehrsbereich (Weissenburger 1993). Die Abbildung 2.5 spiegelt anhand der Sulfatniederschläge im Jahr 1988 die hohe Konzentration der Industrie im europäischen Teil der ehemaligen Sowjetunion wider. Sie zeigt zudem, daß auch weite Teile der sibirischen Wälder durch hohe Schadstoffeinträge belastet werden.

Grundsätzlich kann von einer deutlichen Schädigung der Wälder im Umkreis aller Industrieregionen ausgegangen werden. Da jedoch für die frühere Sowjetunion nur wenige punktuelle Aufnahmen der Waldschäden vorliegen (UN-ECE 1991), ist eine genauere Abschätzung über die Ausdehnung geschädigter Wälder nur schwer möglich. Über einige besonders stark betroffene Regionen liegen jedoch inzwischen alarmierende Informationen vor. Vor diesem Hintergrund ist zu befürchten, daß der Anteil der durch Schadstoffeintrag geschädigten Waldflächen in der ehemaligen Sowjetunion ähnlich hoch ist wie in Westeuropa.

Im Industriegebiet Norilsk, im Norden Sibiriens, werden jährlich rund 2,5 Mio. t Schadstoffe — vorwiegend Schwefeldioxid und Kohlenmonoxid — emittiert. Insgesamt galten laut Weissenburger (1990) in der unmittelbaren Umgebung 545 000 ha Waldfläche als stark geschädigt. Inzwischen sind die Wälder in einem Umkreis von etwa 300 km abgestorben oder sichtbar geschädigt. Die betroffene Fläche entspricht mit etwa 25 Mio. ha in etwa der Größe der früheren Bundesrepublik Deutschland (Maydell 1993). Hauptverursacher dieser katastrophalen Schäden sind die Schwefel- und Schwermetallemissionen mehrerer Hüttenkombinate. Hinzu kommen radioaktive Belastungen.

Im Umkreis von Bratsk (Südsibirien) sind bis in eine Entfernung von mindestens 40 km starke Waldschäden festzustellen. In unmittelbarer Umgebung sind die hier vorherrschenden Kiefernbestände abgestorben (Wein 1988). Auf der Halbinsel Kola, im europäischen Teil der ehemaligen Sowjetunion, sind vor allem zwei unmittelbar an der Grenze zu Finnland bzw. Norwegen errichtete Nickelkombinate für die Jahresemission von insgesamt 670 000 t SO₂ verantwortlich. Im Radius von 50 km sind 12 000 ha Wald

vollkommen abgestorben, weitere 45 000 ha geschädigt (Weißenburger 1990). Auf den belasteten Standorten breitet sich mehr und mehr Tundravegetation aus (Robin Wood 1993). Auch in Krasnojarsk haben die Emissionen eines Kraftwerks und der chemischen Industrie im Zusammenspiel mit den Winternebeln als Folge des nahegelegenen Stausees zu großflächigen Waldschäden geführt. Seitdem der Jenissej-Fluß im Winter nicht mehr zufriert, ist die Region praktisch den ganzen Winter lang in einen mit Schadstoffen angereicherten Nebel gehüllt (Cejka 1992).

Enorme Landschaftsschäden werden auch durch die Förderung von Erdöl und Erdgas zum Beispiel in der Region Tjumen und in Nordsibirien sowie die radioaktive Verseuchung der Wälder um Tschernobyl und vor allem um Tscheljabinsk hervorgerufen. Viele der betroffenen Flächen sind irreversibel geschädigt, eine Regeneration der Wälder ist hier bestenfalls in ferner Zukunft möglich. Weitere extrem belastete und damit geschädigte Gebiete befinden sich im Umland des südlichen Ural, im Großraum Moskau, im Fernen Osten und — außerhalb der Waldzone — auf der Insel Nowaja Semlja.

2.7 Nutzung und Gefährdung der Wälder in Kanada

Ebenso wie Rußland verfügt Kanada über große Primärwaldgebiete. Fast die Hälfte der 453 Mio. ha großen Waldfläche ist in natürlichem Zustand. Im wesentlichen handelt es sich dabei um offene Wälder in Sumpf- und Moorengebieten sowie besonders ausgewiesene Schutzwälder. Die kommerziell nutzbare produktive Waldfläche nimmt 209 Mio. ha ein, wovon 112 Mio. ha in der Regel durch Kahlschlag genutzt werden können (Forestry Canada 1992a). Der gesamte Holzvorrat in den kanadischen Wäldern wird auf 24,7 Mrd. m³ geschätzt (CCFM 1993). Die wichtigsten waldgefährdenden Faktoren sind die hohe Waldbrandgefahr, der Schädlings- und Krankheitsbefall sowie in Teilgebieten eine nicht nachhaltige Forst- und Holzwirtschaft.

2.7.1 Die kanadische Forst- und Holzwirtschaft

Rund 8 % der weltweit wirtschaftlich nutzbaren Waldgebiete befinden sich in Kanada. Die Waldflächen sind überwiegend in öffentlichem Besitz. Die Provinzen verfügen über 80 % der kanadischen Wälder, 11 % sind im Besitz des Bundes und nur 9 % in privater Hand. Die Waldnutzung obliegt somit im wesentlichen den Provinzregierungen, die den zulässigen jährlichen Hiebsatz festlegen und Nutzungskonzessionen an Privatfirmen vergeben. Die einzelnen Konzessionsgebiete nehmen zum Teil riesige Flächen ein. So hat die Regierung der Provinz Manitoba die Nutzungskonzession für ein Fünftel der Gesamtfläche an eine Firma vergeben. In Alberta erhielten zwei japanische Firmen die Nutzungskonzession über ein Gebiet, das 15 % der Fläche der gesamten Provinz ausmacht. Die Konzessionsverträge sind in der Regel auf 15 bis 25 Jahre befristet und müssen alle fünf bzw. 10 Jahre erneuert werden. Meist

werden lediglich das Ausmaß der Holzernte, die zu entrichtenden Gebühren und der Straßenbau geregelt. Seit 1987 können jedoch auch bestimmte Standards für die Holzernte und andere waldbauliche Operationen festgelegt werden.

Der zulässige jährliche Hiebsatz liegt bei 204 Mio. m³ (166 Mio. m³ Nadelhölzer und 38 Mio. m³ Laubhölzer). Er wird bei den Nadelhölzern voll ausgeschöpft, während die Laubhölzer nur zu einem Drittel genutzt werden. Der Gesamteinschlag betrug laut Forestry Canada (1992b) im Zeitraum 1987 bis 1989 jährlich etwa 190 Mio. m³. Nach Angaben der FAO lag er im gleichen Zeitraum zwischen 177 und 180 Mio. m³/Jahr und im Jahr 1991 bei 178 Mio. m³. Die kanadische Forstminister-Konferenz beziffert den Einschlag im Jahr 1990 auf 164 Mio. m³ und 1991 auf 162 Mio. m³ (CCFM 1993). Der Gesamteinschlag entfällt zu fast 90 % auf Nadelbäume (Cayford 1993).

Die gesamte jährliche Einschlagsfläche hat sich zwischen 1970 und 1989 auf etwa 1 Mio. ha verdoppelt und ist seitdem auf etwa 860 000 ha zurückgegangen (Tab.2.9). Knapp 90 % davon werden durch Kahlschlag abgeholzt (CCFM 1993). Tabelle 2.7 zeigt, daß die größten Anteile an der Einschlagsfläche auf die Provinzen Quebec und Ontario entfallen, während die geerntete Holzmenge pro Hektar in Britisch Kolumbien mit Abstand am größten ist. Diese Differenz ist darauf zurückzuführen, daß hier im wesentlichen die extrem biomassereichen Wälder an der Pazifikküste eingeschlagen werden. Ferner verdeutlicht die Tabelle, daß Einschlagsmenge und durchschnittliche Kahlschlaggröße in den verschiedenen Provinzen deutlich voneinander abweichen.

Die kanadische Holzwirtschaft nimmt mit einem Beitrag von etwa 49 Mrd. can\$ bzw. 3,5 % zum jährlichen Bruttosozialprodukt eine außerordentlich große Bedeutung ein. Kanada ist die weltweit größte Exportnation für Holzprodukte. Diese machten im Jahr 1989 mit einem Gesamtwert von 23 Mrd. can\$ 17 % des gesamten Exportvolumens aus (Statistisches Bundesamt 1991). Im Jahr 1990 beschäftigten die Betriebe der Forst- und Holzindustrie nach eigenen Angaben 289 000 Arbeitnehmer und Arbeitnehmerinnen. Das sind 2,3 % aller Erwerbstätigen in Kanada. Weitere 440 000 Arbeitsplätze waren indirekt vom Forst- und Holzsektor abhängig. Trotz des rapiden Anstiegs der Holzproduktion hat sich die Beschäftigtenzahl seit den 70er Jahren tendenziell verringert und sank im Jahr 1991 auf 250 000 (Cayford 1993).

Die Tabelle 2.8 zeigt auf der Grundlage der FAO-Angaben, daß das jährliche Einschlagsvolumen seit Beginn der 80er Jahre um etwa 50 % angestiegen ist. Damit werden zur Zeit rund 5 % des weltweiten Holzeinschlags in Kanada getätigt. Der überwiegende Teil der Ernte wird einer industriellen Verarbeitung zugeführt, weniger als 4 % des Holzes werden als Brennholz verwendet. Die kanadische Forstindustrie erreicht damit einen Anteil von 10 % am weltweiten Nutzholzaufkommen.

Der Schwerpunkt der Holzverarbeitung liegt im Bereich des Schnittholzes, das überwiegend zu Bauzwecken verwendet und zum großen Teil in die USA bzw. nach Japan exportiert wird. Traditionell werden

Tabelle 2.7

Holzeinschlag in den Provinzen und Territorien Kanadas im Jahr 1989

Provinz/Territorium	Einschlag- fläche Gesamt in 1 000 ha	Einschlag- fläche in % Wirtschafts- wälder	Kahlschlag- fläche in 1 000 ha	Durchschnitt- liche Kahl- schlaggröße in ha	Einschlag- menge in m³/ha	Vorrat Altbestand in m³/ha
Neufundland	19,5	0,02	19,5	120	130	114
Pr. Edward In.	2,4	0,09	—	3	190	100
Neuschottland	37	1,0	36	50	115	104
Neubraunschweig	90	1,5	90	40—50	103	126
Quebec	342	0,07	252	—	116	96
Ontario	230	0,07	200	1—130 (60 %)¹) 131—260 (26 %) 260 (14 %)	129	135
Manitoba	12	0,01	12	10 (10 %) 10—49 (80 %) 50 (10 %)	151	117
Saskatschewan	22	0,02	22	30—40 W 60—70 H	165	134
Alberta	42	0,02	42	17 W 32 H	295	197
Britisch Kolumbien	218	0,05	199	40	400	255
Yukon	1,6	—	1,6	15—20	—	—
NW-Territorien	0,5	—	0,5	21	—	—
Gesamt	1 000	0,05	875	—	190	163

¹) Ergebnisse einzelner Stichproben

H = Harthölzer; W = Weichhölzer

Quellen: Forestry Canada (1992) und CCFM (1993)

Tabelle 2.8

Die Produktion von Holz, Zellstoff, Papier und Karton in Kanada
im Zeitraum von 1982 bis 1991

Produkt	1982		1985		1988		1991	
	Prod.	Export	Prod.	Export	Prod.	Export	Prod.	Export
Einschlag (Mio. m³)	129,7	—	168,7	—	180,1	—	178,0	—
Brennholz (Mio. m³)	5,7	—	6,7	—	6,8	—	6,8	—
Nutzholz (Mio. m³)	124,0	3,6	162,0	4,8	173,2	6,2	171,2	3,3
Säge- und Furnierholz (Mio. m³)	88,9	1,2	119,3	2,5	125,4	3,0	123,4	0,7
Schnittholz (Mio. m³)	37,2	27,9	54,6	39,0	60,7	41,7	52,0	37,0
Faserholz (Mio. m³)	33,7	2,2	40,6	2,1	45,5	3,1	45,5	2,6
Zellstoff (Mio. t)	17,0	6,1	20,2	7,0	23,3	8,4	23,3	8,7
Papier und Karton (Mio. t) .	12,4	8,6	14,4	10,2	16,6	11,5	16,6	11,9

Quelle: FAO 1993 b

die meisten Wohnhäuser in Nordamerika aus Holz gebaut. Dies ermöglicht nicht nur eine gute Wärmedämmung, sondern spart auch nicht erneuerbare Rohstoffe. Der Bedarf an Bauholz ist entsprechend groß. Von den im Jahr 1991 produzierten 52 Mio. m³ Schnittholz wurden 37 Mio. m³ exportiert. Dies entspricht einem Anteil von über 40 % am Weltexport.

Einen hohen Stellenwert nimmt die Produktion von Papier und die Zellstoffherstellung ein. Mit einer Produktionsmenge von 16,6 Mio. t Papier, Pappe und Karton (1991) und einem Anteil von etwa 15 % an der Weltproduktion nimmt Kanada hinter den USA (72,7 Mio. t), Japan (29,1 Mio. t) und China (18,5 Mio. t) den vierten Rang ein. Fast drei Viertel (12 Mio. t) der Produktion werden exportiert. Mit einem Anteil von rund 20 % ist Kanada der größte Exporteur von Papierprodukten.

Noch dominanter ist die Stellung Kanadas im weltweiten Zellstoffhandel. Das Land exportierte im Jahr 1991 8,8 Mio. t Zellstoff, das ist ein Drittel des weltweiten Exportvolumens. Hinter den USA mit fast 60 Mio. t Jahresproduktion ist Kanada mit 23,3 Mio. t der zweitgrößte Produzent. Nach Angaben der kanadischen Forstindustrie gingen in den Jahren 1990 und 1991 jeweils etwa 20 % der eingeschlagenen Holzmenge als Faserholz in die Papier- und Zellstoffproduktion.

Innerhalb der letzten Jahre wurden die Praktiken der kanadischen Forstindustrie mehr und mehr kritisiert. Die Hauptgründe dafür waren

- eine drastische Zunahme der Kahlschlaggrößen,
- die Beeinträchtigung der Umwelt und der Schönheit der Wälder (Tourismus) durch die Holzerntemethoden,
- Mängel beim Bau von Transportwegen, vor allem in Gebirgsregionen, sowie
- die Zerstörung von Urwäldern.

Lange Zeit orientierte sich die Forstpraxis in Kanada nicht am Kriterium der Nachhaltigkeit, sondern basierte auf der Vorstellung eines scheinbar unerschöpflichen Reservoirs. Tatsächlich sind jedoch nur 30 % des verfügbaren Waldlandes in der borealen Zone Nordamerikas unter den gegenwärtigen Bedingungen zugänglich. Nur knapp die Hälfte dieser Fläche ist mit von der Holzindustrie verwertbaren Bäumen bestockt (Treter 1990b). Die wirtschaftlich nutzbaren Holzvorräte sind daher wesentlich geringer als es das große Potential von 209 Mio. ha produktiven Waldes auszudrücken vermag.

Die kanadische Forstwirtschaft basierte lange Zeit auf der Ausbeutung der natürlichen Wälder. Maßnahmen zur Regeneration der eingeschlagenen Flächen sind aus Kostengründen in starkem Maße vernachlässigt worden. Eine im Jahr 1977 durchgeführte Waldenerneuerungs-Konferenz kam zu dem Ergebnis, daß „die unzureichende Wiederbewaldung ein ernstzunehmendes und grundlegendes Problem für die kanadische Forstwirtschaft geworden war“ (Cayford 1993). Die Entfernungen zwischen den Beständen und den Holzverarbeitungsbetrieben hatten sich aufgrund der

vernachlässigten Regeneration in den leicht zugänglichen Gebieten deutlich vergrößert (Fox 1988). Bei Andauer dieser Exploitationswirtschaft ohne ausreichende Regenerationsbemühungen wären die wirtschaftlich nutzbaren Holzvorräte Kanadas in etwa 40 bis 50 Jahren erschöpft (Treter 1990b).

In der Folgezeit wurden daher die Anstrengungen zur Wiederbewaldung eingeschlagener Flächen verstärkt. Es ist jedoch kaum möglich, sich anhand der vorliegenden Daten ein genaueres Bild über Ausmaß und Erfolg der Regeneration zu machen. Nach Angaben der Kanadischen Forstminister-Konferenz (CCFM) steigerte sich die aufgeforstete Fläche (inklusive Erstaufforstungen) zwischen 1980 und 1991 von knapp 200 000 ha auf etwa 500 000 ha/Jahr (Saat und Pflanzung; Tab. 2.9). Dagegen geht Cayford (1990) davon aus, daß trotz aller Bemühungen zur Steigerung der Sämlingsproduktion maximal 300 000 ha pro Jahr bepflanzt werden können. Über die Erfolgsquoten der Wiederaufforstung liegen auf Bundesebene keine Daten vor. Hearnden u. a. (1992) berichten für Ontario, daß sich die Einschlagsflächen der Jahre 1970 bis 1985 zu 96 % wiederbewaldet haben. Hier waren 35 % der eingeschlagenen Flächen wiederaufgeforstet worden. Diem (1993) schätzt die Ausfallquote für die im Jahr 1988 in Britisch Kolumbien gepflanzten 200 Mio. Sämlinge auf 40 %. In der Regel reicht jedoch eine Erfolgsquote von 30 bis 50 % für eine ausreichende Bestockung aus. Eine Abschätzung der erfolgreich wiederbestockten Flächen ist auf dieser Basis also nicht möglich.

Tabelle 2.9

Einschlag-, Pflege- und Aufforstungsflächen in Kanada (in 1 000 ha)

Jahr	Einschlag- fläche	Bodenvor- bereitung	Pflanzung	Saat	Pflege
1990	926,1	408,8	472,9	37,5	371,1
1991	859,4	435,4	461,4	43,7	365,5

Quelle: CCFM (1993)

Der größte Teil der Regeneration erfolgt jedoch über die natürliche Verjüngung. Allerdings kam es auf den sich selbst überlassenen Kahlschlagflächen häufig zu einer fehlenden, unzureichenden oder zumindest verzögerten Bestandsregeneration. Trotz verstärkter Aufforstungsbemühungen nahm die Fläche der bestockten Wirtschaftswälder daher im Zeitraum von 1976 bis 1986 ab. In diesem Zeitraum sind insgesamt 19,1 Mio. ha entwaldet worden. Zu 44 % ist dies auf die Holzernte und zu 56 % auf Waldbrände und Schädlings- bzw. Krankheitsbefall zurückzuführen. 14,3 Mio. ha davon sind durch Aufforstung und Verjüngung wieder bestockt worden, rund 5 Mio. ha blieben unbestockt. Der aktuelle jährliche Nettoverlust an produktiver bestockter Waldfläche wird auf 474 000 ha geschätzt (Länderbericht Kanada; UNECE/FAO 1992b). Insgesamt gelten etwa 20 % der jährlich durch Kahlschlag, Feuer und Forstschädlinge entwaldeten Flächen als nicht hinreichend bestockt

und gehen einer zukünftigen Nutzung verloren (Tretter 1990b und 1993). Der Bestand an unbestockten Waldflächen hat sich laut einer Schätzung von Hermann (1988) von 5 Mio. ha im Jahr 1960 auf 25 Mio. ha ausgeweitet.

Die Folgen der Einschlagspraxis sind vor allem in Britisch Kolumbien besorgniserregend. Hier hat sich die Holzproduktion innerhalb der letzten beiden Jahrzehnte besonders stark erhöht. Die Hälfte des seit 1911 in dieser Provinz eingeschlagenen Holzes wurde innerhalb der letzten 14 Jahre geerntet. Heute liegt die Holzproduktion mit etwa 90 Mio. m³ (46 % der gesamten kanadischen Holzproduktion) um ein Drittel über der nachwachsenden Holzmenge (Postel und Ryan 1991). Es wird somit in erheblichem Maße gegen das Prinzip der Nachhaltigkeit verstoßen.

Das gebirgige Relief und die im Küstenbereich hohen Niederschläge bewirken in weiten Teilen Britisch Kolumbiens eine hohe Erosionsgefahr auf kahlgeschlagenen Flächen, zumindest in der Zeit bis zur Wiederbewaldung. In einigen der tiefen Täler, die sich zum Pazifik hin öffnen, führten Kahlschläge und Wegebau zum Teil zu gravierenden Bodenabträgen, die eine Verjüngung der Bestände erschwerten oder verhinderten. Hier wurden Siedlungen und Infrastruktureinrichtungen durch Erdbeben, Lawinen und Überschwemmungen gefährdet (Diem 1993).

Von besonderer ökologischer Problematik ist der unwiederbringliche Verlust der einzigartigen Regenurwälder an der Pazifikküste. Im Zentrum der Ausein-

andersetzung zwischen Umweltschützern und Forstwirtschaft stehen die alten natürlichen Wälder („Old-Growth Forests“) auf der Vancouver-Insel. Auf der 3,2 Mio. ha großen Insel waren im Jahr 1954 noch 1,69 Mio. ha mit Old-Growth-Wäldern bestockt. Diese sind innerhalb der letzten Jahrzehnte vor allem im Süden der Insel zum großen Teil eingeschlagen worden. Im Jahr 1990 nahmen die Urwälder nur noch 829 000 ha ein. Hält die bisherige Einschlagrate an, werden die Regenurwälder auf der Vancouver-Insel im Jahr 2022 nur noch in den geschützten Gebieten vorkommen (Sierra Club und Wilderness Society 1991).

Eine Untersuchung über den Status der Urwälder auf der Vancouver-Insel ermittelte, daß nur 2,5 bis 3,5 % in Parks und Reservaten geschützt sind. Auf der restlichen Fläche wurden 295 Wildnisgebiete abgegrenzt. Ein Vergleich mit den Erschließungs- und Einschlagsplänen ergab, daß bis 1996 davon 215 erschlossen und genutzt werden sollen (Webb 1992). Die Provinzregierung hat bereits Nutzungslizenzen für knapp 1,3 Mio. ha Wald an Forstunternehmen erteilt. Es ist vor diesem Hintergrund zu befürchten, daß die Regenurwälder auf der Vancouver-Insel innerhalb der nächsten 15 Jahre weitgehend verschwunden sein werden.

Besonders umstritten ist die im April 1993 getroffene Entscheidung der Regierung, mit dem „Clayoquot Sound“ eines der größten noch zusammenhängenden natürlichen Regenwaldgebiete auf der Vancouver-Insel für den Einschlag freizugeben. Das Clayoquot

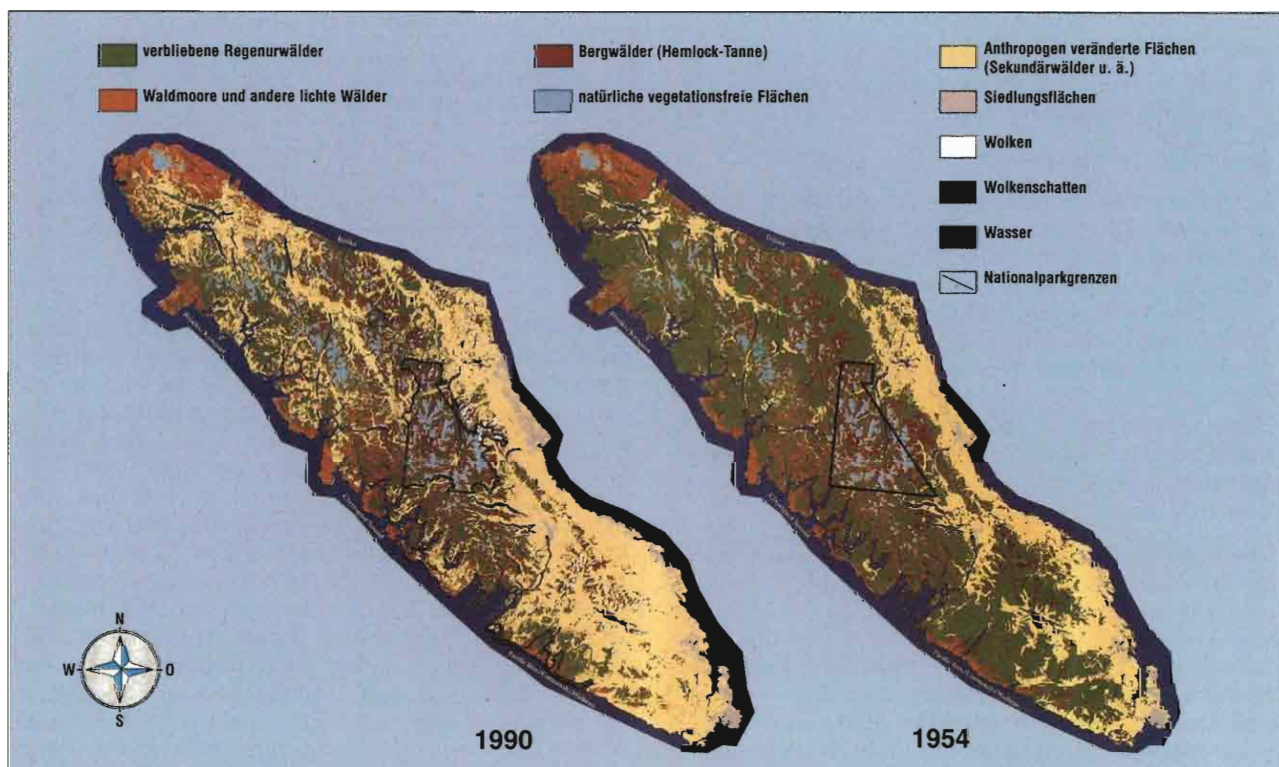


Abbildung 2.6: Abnahme der mit Regenurwäldern bedeckten Flächen auf der Vancouver-Insel im Zeitraum von 1954 und 1990
Quelle: Sierra Club und Wilderness Society 1991

Sound Gebiet umfaßt zahlreiche natürliche Flußmündungen, tiefe, fjordartig eingeschnittene Buchten, dichten Urwald, Feuchtgebiete und alpine Bereiche. In den Gewässern leben, neben einer Vielzahl von Muschel- und Fischarten, zwei Walarten und die zweitgrößte Haiart der Erde. In den Wäldern sind Bären, Wölfe und Pumas noch in großer Zahl beheimatet.

Von der Gesamtfläche — 260 000 ha — sind durch den Beschluß der Provinzregierung 33 % unter Schutz gestellt, 45 % für den Kahlschlag und 17 % für einen eingeschränkten Einschlag freigegeben worden. Jährlich dürfen 1 000 ha in Kahlschlägen von maximal 40 ha Größe abgeholzt werden. Zwischen den einzelnen Kahlschlägen müssen Waldstreifen verbleiben, die jedoch nach einer erfolgreichen Wiederbewaldung ebenfalls eingeschlagen werden können (Province of British Columbia 1993). Ein wesentlicher Faktor für diese Entscheidung waren nach Auskunft des Forstministeriums Britisch Kolumbiens mögliche Kompensationsforderungen der Unternehmen, die alte Einschlagsrechte besitzen. Neben Umweltgruppen wehren sich vor allem die im Clayoquot Sound lebenden Nuu-chah-nulth Völker gegen Umfang und Art des vorgesehenen Einschlags. Sie fordern die Kontrolle über ihr traditionelles Land.

Die relativ restriktiven Nutzungseinschränkungen im Fall des Clayoquot-Sounds sind symptomatisch für den zur Zeit stattfindenden Umbruch in der gesamten kanadischen Forstwirtschaft. Nicht zuletzt aufgrund des spürbaren Absatzrückganges für Holzprodukte ist auch die kanadische Forst- und Holzwirtschaft bereit, sich in Richtung einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Wälder zu bewegen. Es gelang daher, im Rahmen des 1990 von der Bundesregierung verabschiedeten Umwelt-Aktionsplans („Greenplan“) auch eine neue nationale Waldstrategie („National Forest Strategy“) zu beschließen. Im sog. „Canada Forest Accord“ wurde diese von den Forstministern der Provinzen entwickelte Waldstrategie von den verschiedenen betroffenen Interessengruppen, u. a. der Forst- und Holzindustrie, bestätigt. Kernpunkte der neuen Strategie sind eine Verdopplung der Schutzgebiete auf 12 % der Landesfläche, die Einführung nachhaltiger Bewirtschaftungsmethoden durch eine Erhöhung und qualitative Verbesserung der Aufforstungen sowie die Ausweisung von 10 Modellwäldern, in denen auf insgesamt 7 Mio. ha neue, „sanfte“ Bewirtschaftungsmethoden entwickelt werden sollen (Forestry Canada 1992c). Zudem sind Mittel zur Einrichtung derartiger Modellwälder in weiteren drei Staaten zur Verfügung gestellt worden. Des weiteren sind jährlich Berichte über den Zustand der kanadischen Wälder dem Parlament vorzulegen (Minister of Supply and Services Canada 1993).

Als Folge des Umdenkens sind die in jüngerer Zeit vergebenen Holzeinschlagskonzessionen mit einer Reihe von Auflagen versehen worden, die zu einer nachhaltigeren Wirtschaftsweise führen sollen. Es werden z. B. Höchstgrenzen für Kahlschlaggrößen festgeschrieben, auf den Einschlagsflächen sollen Altholzinseln verbleiben, entlang der ökologisch besonders empfindlichen Uferzonen von Bächen und Seen müssen Randstreifen mit Wald erhalten bleiben.

Zudem werden Mindeststandards für die Aufforstung vorgegeben.

Die Vorschriften variieren jedoch zwischen den Provinzen. So liegt die in Ontario festgeschriebene Höchstgrenze für Kahlschläge immer noch bei 260 ha. In Alberta betragen die Höchstgrößen dagegen 60 ha in Kiefern- und 32 ha in Fichtenbeständen. Außerdem muß hier die Folgegeneration von Nadelbäumen außer in Höhenlagen und Sümpfen 7 bzw. 14 Jahre nach der Ernte 0,5 bzw. 1,5 m Höhe erreicht haben. Im übrigen dürfen nur standorttypische Baumarten verwendet werden (Rothwell 1992).

Darüber hinaus wird auch die Rückführung der Höchsteinschlagsmengen in Erwägung gezogen. So teilte die Provinzregierung mit, daß in Britisch Kolumbien zukünftig etwa 20 bis 30 % weniger Holz eingeschlagen werden soll. Die Erfolge dieser neuen Strategie werden sich in den kommenden Jahren abzeichnen.

2.7.2 Gefährdung durch Feuer und Insekten

Die boreale Zone Nordamerikas zählt zu den Regionen mit ausgedehnten, hochintensiven Feuern, die sich rasend schnell ausbreiten und nicht selten Flächen von mehr als 400 ha Größe einnehmen. Besonders häufig treten Feuer im relativ trockenen Nordwesten Kanadas auf. Die Feuerrotation beträgt hier 50 bis 100 Jahre. Nach Osten nimmt diese Zeitspanne auf 100 bis 300 Jahre in Ontario und Quebec und fast 500 Jahre in Südost-Labrador zu (Heinselmann 1985).

In den kaum besiedelten Gebieten der nördlichen borealen Zone ist das Feuerregime weitgehend natürlich. Die Brände werden überwiegend durch Blitzschläge ausgelöst. Im dichter besiedelten Süden werden die Feuer zunehmend durch menschliches Fehlverhalten ausgelöst. Zeitpunkt, Häufigkeit und Ort von Waldbränden entsprechen nicht mehr den natürlichen Bedingungen und die Brände haben somit eine Schädigung, an die die Vegetation nicht angepaßt ist. Besonders problematisch ist die starke Zunahme der Feueraktivität innerhalb der letzten Jahrzehnte. Zwar variieren die Brandflächen von Jahr zu Jahr erheblich, doch weist der zehnjährige Mittelwert einen deutlichen Anstieg von 875 000 ha in den 60er Jahren auf 2,4 Mio. ha in den 80er Jahren auf. Im Jahr 1991 wurden insgesamt 10 336 Waldbrände registriert, denen etwa 1,6 Mio. ha Wald zum Opfer fielen. Zwar wurden knapp 60 % dieser Brände durch menschliche Aktivitäten ausgelöst. Der überwiegende Teil der Brandflächen wurde mit etwa 80 % jedoch von natürlichen Feuern heimgesucht (Abb. 2.7).

Neben der zunehmenden Erschließung der borealen Wälder für den Menschen sowie klimatischen Einflüssen sind paradoxerweise auch die Brandschutzmaßnahmen für die Erhöhung der Feueraktivität verantwortlich. Die Unterdrückung von Bränden seit den 20er Jahren dieses Jahrhunderts, hat zu einer Überalterung großer Teile der Wälder und zu einem Überschuß an abgestorbener Biomasse geführt. Beide Faktoren begünstigen die Entstehung und Ausbrei-

tung von Feuern. Mittlerweile hat man die Brand-schutzstrategie verändert. Brände werden nur noch in sog. Feuer-Aktionszonen bekämpft, bis sie gelöscht sind. Darüber hinaus werden die Brände nur beobachtet und Löschmaßnahmen nur dann eingeleitet, wenn Gebiete höherer Priorität bedroht sind (Johnston 1992).

Die mit Schädlingen befallenen Waldflächen unterliegen großen jährlichen Schwankungen. Zwar ist der Schädlingsbefall seit den 70er Jahren tendenziell rückläufig, doch erscheint die Gefahr dennoch nicht gebannt. So steigerte sich zum Beispiel die Waldflächen mit mittleren und starken schädlingsbedingten Schadsymptomen von 20,5 Mio. ha im Jahr 1990 auf 33,8 Mio. ha im Jahr 1991 (CCFM 1993). Das Risiko

nimmt in Zukunft eher zu, da nunmehr der Anteil alter, besonders gefährdeter Waldbestände anwächst. Für den Zeitraum zwischen 1982 und 1986 wird der durch Schädlingsbefall hervorgerufene Vorratsverlust auf 110 Mio. m³ geschätzt; dies entspricht einer Fläche von über 1 Mio. ha. Zwischen 1987 und 1989 ist auf etwa 0,5 Mio. ha eine mäßige bis schwere Entnadelung als Folge von Insektenbefall aufgetreten (For-restry Canada 1992b).

Durch die forstwirtschaftliche Praxis wird die ohnehin vorhandene Gefahr des massiven Schädlingsbefalls noch erhöht. Die Konzentration des Einschlags auf die vitalsten Bestände sowie die Begünstigung einzelner Baumarten (z. B. Balsamtanne) haben die Ausbreitung von Schädlingen begünstigt. Um die Ertragsver-

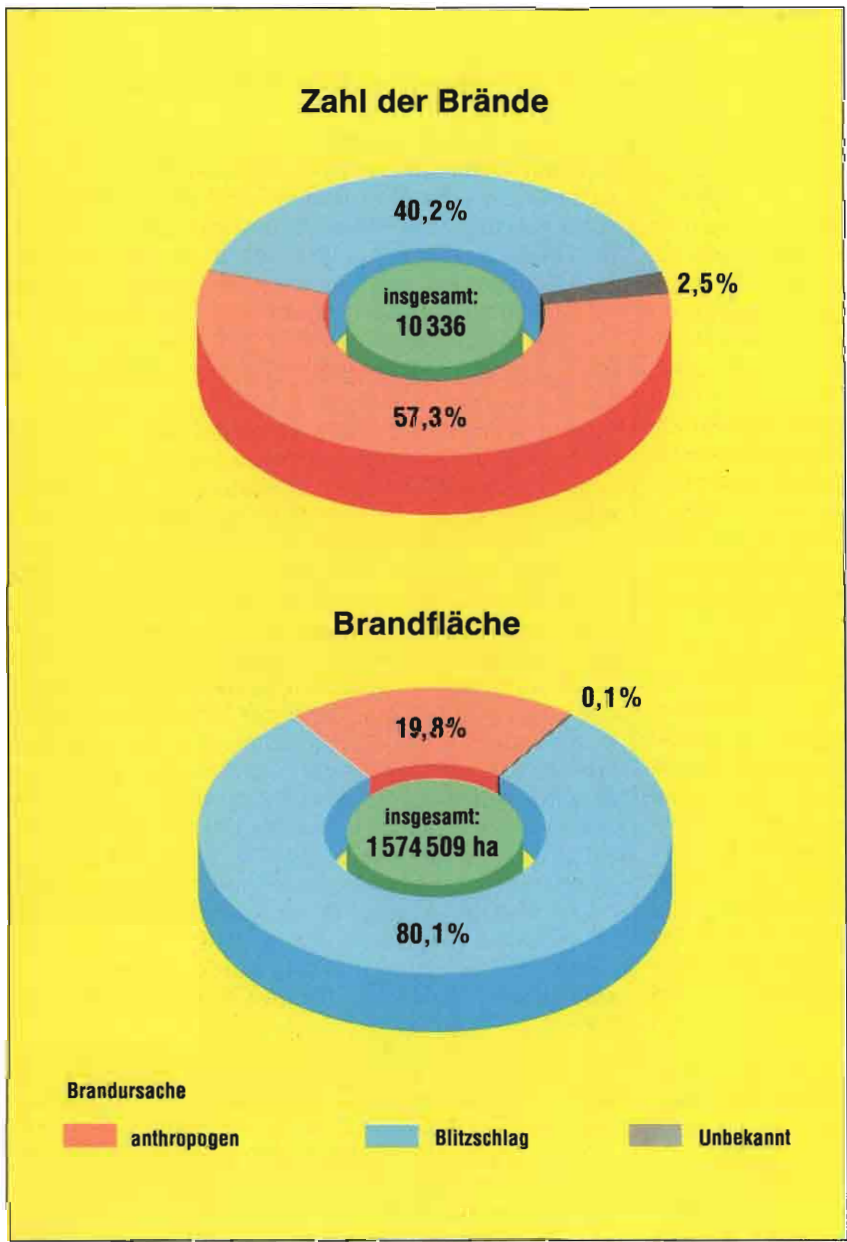


Abbildung 2.7: Waldbrände in Kanada im Jahr 1991
Quelle: CCFM 1993

luste zu reduzieren, werden seit Jahrzehnten Forstchemikalien per Flugzeug ausgebracht. In den 50er Jahren wurde hauptsächlich DDT verwendet; seit den 60er ist man auf weniger gefährliche Produkte umgestiegen. In jüngster Zeit wird überwiegend das biologische Präparat *Bacillus thuringiensis* (B.t.) verwendet. Doch auch dieses Mittel ist umstritten: Aufgrund seiner nicht selektiven Wirkungsweise tötet es eine Vielzahl von Insekten, unter ihnen auch Nützlinge. Zudem sind die bei der Ausbringung beigemischten Emulgatoren wegen ihrer Toxizität umstritten (Dunster 1987).

Die Größe der behandelten Flächen variiert von Jahr zu Jahr in starkem Maße. Im Jahr 1985 wurden auf 1,4 Mio. ha Waldfläche Maßnahmen zur Schädlingskontrolle durchgeführt (Forestry Canada 1992 b), in Ontario im Jahr 1986 über 730 000 ha Wald chemisch behandelt (Dunster 1987).

2.7.3 Industrielle Erschließung

Die nur dünn besiedelte boreale Zone Kanadas weist eine Reihe bedeutender Rohstofflagerstätten auf, die seit Beginn dieses Jahrhunderts genutzt werden. Der Umfang der Rohstoffgewinnung ist abhängig von der kanadischen Wirtschaft, der im Süden des Landes konzentrierten Industrie bzw. vom Weltmarkt. Hinter den USA und der ehemaligen Sowjetunion exportiert

Kanada die drittgrößte Menge an Bergbauerzeugnissen (ohne Brennstoffe). Die Rohstoffquellen waren und sind die Triebfeder bei der Erschließung des kanadischen Nordens.

Landesweit werden mehr als 60 Mineralien gefördert. Erschließung und Abbau werden in allen kanadischen Regionen vorgenommen. Die wichtigsten Bergbauregionen im Bereich der borealen Waldzone liegen südlich von Scheffersville in Labrador (Eisenerz), beiderseits der Grenze zwischen Quebec und Ontario (Buntmetalle), bei Flin Flan in Nordmanitoba (Buntmetalle, Gold), in der Region Fort McMurray in Nordalberta (Erdöl, Ölsände) sowie im Yukon-Territorium, nahe der Grenze zu Alaska (Buntmetalle). Über den Umfang der Waldvernichtung durch die Gewinnung liegen keine Daten vor, doch sind schwere Umweltschäden durch den Abbau von Ölsänden im Norden Albertas bekannt (Lenz 1990). Schäden bedingt auch der umfangreiche Uranerzabbau und die damit verbundene radioaktive Belastung in der Waldtundra Nordsaskatschewans. Hier werden jährlich mit rund 8 000 t Uran 20 % der Weltförderung gewonnen. Die industriell bedingten Waldschädigungen sind insgesamt jedoch marginal und betreffen maximal 1 % der Waldfläche (Minister of Supply and Services Canada 1993).

Auch die Nutzung des Wasserkraftpotentials wurde seit den 60er Jahren drastisch verstärkt. Heute gehört Kanada zu den größten Energieproduzenten der Welt.

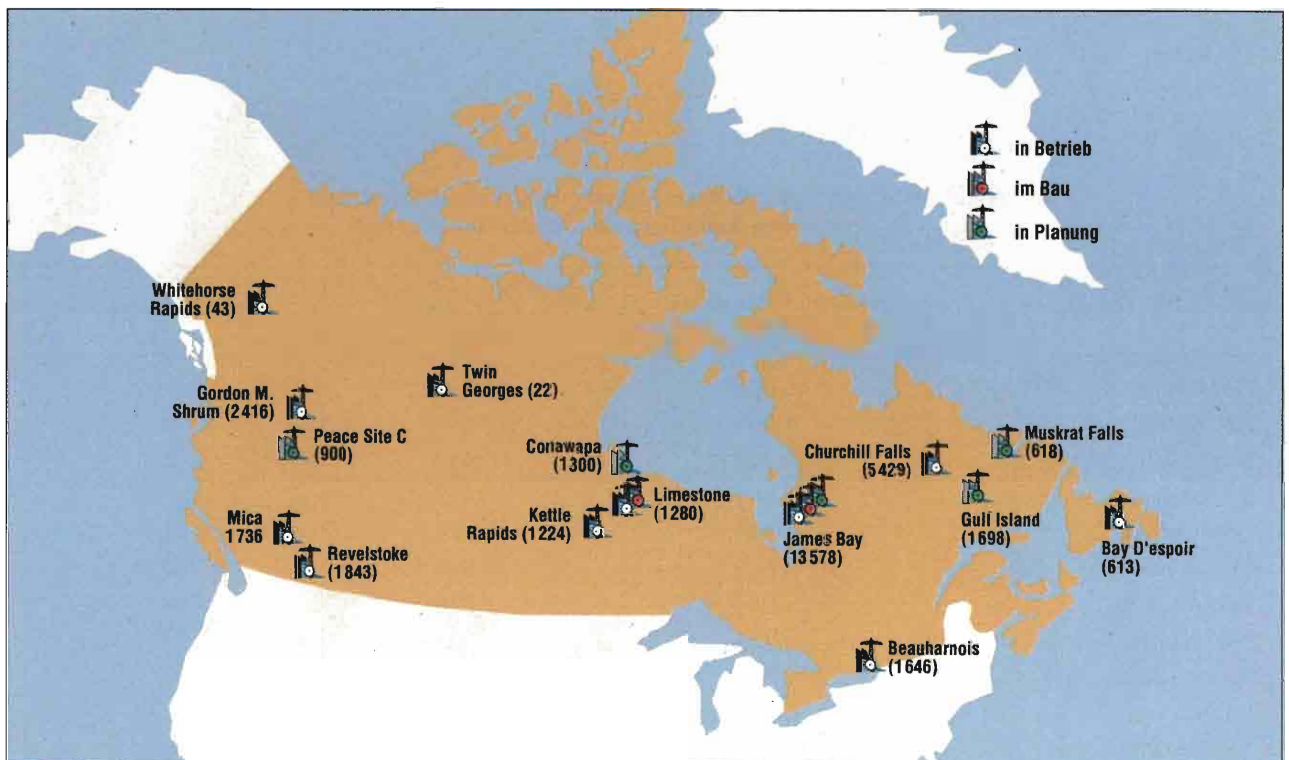


Abbildung 2.8: Die größten Wasserkraftwerke in Kanada
(Installierte oder geplante Kapazität in MW)
Quelle: Minister of Energy, Mines and Resources 1990

Gemessen an der Bevölkerungszahl und dem Brutto-sozialprodukt weist das Land weltweit den höchsten Energieverbrauch auf, was nicht zuletzt auf den hohen Heizenergiebedarf und die großen Transportdistanzen zurückzuführen ist. Allein zwischen 1980 und 1987 ist der Verbrauch von elektrischer Energie um 31 % auf 403,4 Mrd. kWh gestiegen (Statistisches Bundesamt 1991). Zudem wurden 47,4 Mrd. kWh exportiert. Der größte Teil der elektrischen Energie wird in Wasserkraftwerken gewonnen. Der Anteil der Wasserkraft an der Stromerzeugung stieg von 1960 bis 1990 von 106 Mrd. kWh auf 293 Mrd. kWh. Mit einer installierten Gesamtkapazität von 53 381 MW ist Kanada weltweit der drittgrößte Produzent von Wasserkraft. Wie die Abb. 2.8 zeigt, befindet sich ein großer Teil der Stauseen in der borealen Waldzone.

Für die Zukunft ist ein weiterer erheblicher Ausbau der Stromerzeugungskapazität geplant, der auch eine verstärkte Nutzung der Wasserkraft vorsieht. In einer Erhebung des nutzbaren Wasserkraftpotentials wurden 89 ökologisch akzeptable und ökonomisch tragfähige Projekte mit einer Gesamtkapazität von 43 573 MW ermittelt. Eine Übersicht über die Verteilung der bestehenden und zukünftig verfügbaren Wasserkraftkapazität auf die Provinzen vermittelt Tab. 2.10.

Mit dem Bau von Stauseen geht nicht nur der Verlust von Wäldern einher. Eine Untersuchung von Rudd u. a. (1993) deutet darauf hin, daß auch aus den Stauseen der borealen Zone Kohlenstoffmengen — je nach Größe, Pflanzenbedeckung und Bodenverhältnisse der überfluteten Fläche — in einer Größenordnung von 430 bis 690 g CO₂-Äquivalent/m²/Jahr freigesetzt werden. In natürlichen Seen schwankt dieser Wert zwischen 0 und 150 g/m²/Jahr. Die Freisetzung kann mehrere Jahrzehnte anhalten, näm-

lich bis die überflutete Biomasse anaerob mikrobiell abgebaut ist. Jede hydroelektrisch erzeugte Kilowattstunde würde in den kanadischen Stauseen je nach Verhältnis von installierter Wasserkraftleistung zu überstauter Fläche zu einer CO₂-Emission von 0,04 bis 0,5 kg führen. In einem Kohlekraftwerk wird, zum Vergleich, bei einem Wirkungsgrad von 38 % pro erzeugter Kilowattstunde Strom etwa 1 kg CO₂ freigesetzt. Umgerechnet auf die gesamte in Kanada installierte Wasserkraftkapazität entspräche dies einer jährlichen Emission von 12 bis 150 Mio. t CO₂.

Das größte und umstrittendste Projekt ist der Bau dreier Stauseenkomplexe im Bereich der Baie James im Übergangsgebiet zwischen borealer Waldzone und Tundra im Norden der Provinz Quebec. Das staatliche Energieversorgungsunternehmen „Hydro Quebec“ will innerhalb der kommenden Jahrzehnte im Baie James-Gebiet eine Kapazität von insgesamt 28 000 MW installieren. Dazu ist die Stauung und Umleitung des weitverzweigten Flußnetzes notwendig, was eine Veränderung der hydrologischen Verhältnisse in einem Gebiet von 336 000 km² verursachen wird. Mehr als 17 000 km² Land, ein Teil davon boreale Wälder, würden überflutet. Der hier produzierte Strom soll zum einen die industriell-urbanen Zentren Quebecs versorgen, zum anderen in die USA exportiert werden. Diskutiert wird zudem der Einsatz der Wasserkraft zur Gewinnung von Wasserstoff, der nach Europa verschifft werden soll (Soyez 1992).

Neben den noch nicht abzuschätzenden ökologischen Auswirkungen sind vor allem die sozialen und ökonomischen Folgen des Projektes für die hier lebenden 10 000 Cree-Indianer Gegenstand einer Auseinandersetzung zwischen den Trägern und Befürwortern sowie den Gegnern dieses „Mega-Projektes“.

Tabelle 2.10

Installierte und zusätzlich verfügbare Wasserkraftkapazitäten
in den kanadischen Provinzen

Provinz	Installierte Kapazität (MW)	Zusätzlich verfügbare Kapazität (MW)	Anzahl pot. Projekte
Neufundland	6 656	2 395	5
Neuschottland	386	—	0
Neubraunschweig	903	440	2
Quebec	27 061	15 453	7
Ontario	7 796	4 024	19
Manitoba	4 025	5 090	12
Saskatschewan	836	870	4
Alberta	734	1 923	2
Britisch Kolumbien	10 849	10 555	18
Yukon	82	350	7
NW Territorium	53	2 473	13
Kanada	59 381	43 573	89

Quelle: Minister of Energy, Mines and Resources 1990.

2.8 Waldnutzung und -gefährdung in Fennoskandien

2.8.1 Der Einfluß der Forst- und Holzwirtschaft

Die Forst- und Holzwirtschaft ist in Schweden, Finnland und Norwegen traditionell einer der wichtigsten Wirtschaftsbereiche. Nachdem bis Mitte des letzten Jahrhunderts die Waldfläche durch Rodungen dra-

stisch zurückgegangen war, wurden große Anstrengungen zur Wiederbewaldung unternommen. Heute beträgt die Waldfläche in Schweden 24,4 Mio. ha (60 % der Landesfläche), in Finnland 20,1 Mio. ha (66 % der Landesfläche) und in Norwegen 8,7 Mio. ha (28 % der Landesfläche). Sie nimmt weiterhin zu. Intensive Wiederaufforstungen und Pflegemaßnahmen innerhalb der vergangenen Jahrzehnte haben zudem in den drei Ländern die jährliche Zuwachsrate an Holzvolumen im Verlaufe des Jahrhunderts auf

Tabelle 2.11

Produktion und Export von Holz, Zellstoff, Papier und Karton in Finnland, Norwegen und Schweden im Zeitraum von 1982 bis 1991

Produkt	1982		1985		1988		1991	
	Prod.	Export	Prod.	Export	Prod.	Export	Prod.	Export
Einschlag (Mio. m ³)								
Finnland	37,7	—	41,7	—	44,9	—	34,1	—
Norwegen	9,5	—	9,5	—	11,0	—	11,0	—
Schweden	50,9	—	51,5	—	54,0	—	51,7	—
Brennholz (Mio. m ³)								
Finnland	3,3	0,0	3,1	0,0	3,0	1,3	3,0	0,0
Norwegen	0,8	0,1	0,9	0,1	0,9	0,2	0,9	0,1
Schweden	4,4	0,8	4,4	0,3	4,4	0,6	4,4	0,6
Nutzholz (Mio. m ³)								
Finnland	34,4	1,1	38,6	1,2	42,0	1,0	31,1	0,4
Norwegen	8,7	0,8	8,7	0,6	10,1	1,0	10,1	1,1
Schweden	46,5	1,0	47,1	1,5	49,5	1,4	47,3	1,2
Säge- und Furnierholz (Mio. m ³)								
Finnland	15,8	0,3	18,1	0,5	19,2	0,3	14,3	0,1
Norwegen	4,7	0,2	4,4	0,2	4,8	0,2	5,7	0,2
Schweden	22,4	0,2	23,1	0,2	22,7	0,4	22,6	0,5
Schnittholz (Mio. m ³)								
Finnland	7,3	4,6	7,3	4,9	7,8	5,1	6,0	4,3
Norwegen	2,3	0,4	2,2	0,3	2,4	0,4	2,3	0,6
Schweden	11,2	7,5	11,5	7,9	11,3	6,8	11,5	6,9
Faserholz (Mio. m ³)								
Finnland	17,2	0,5	19,0	0,4	22,2	0,6	16,1	0,3
Norwegen	3,8	0,6	4,0	0,5	5,1	0,7	4,6	0,9
Schweden	24,0	0,8	23,8	1,2	26,7	1,0	24,6	0,7
Zellstoff (Mio. t)								
Finnland	6,7	1,5	8,0	1,5	9,0	1,7	8,5	1,3
Norwegen	1,5	0,5	2,0	0,6	2,0	0,6	2,1	0,6
Schweden	7,7	2,5	9,1	3,0	10,6	3,1	9,9	2,7
Papier und Karton (Mio. t)								
Finnland	5,9	4,9	7,4	6,3	8,7	7,3	8,5	7,5
Norwegen	1,5	1,0	1,6	1,3	1,7	1,3	1,8	1,5
Schweden	5,9	4,5	7,0	5,3	8,2	6,4	8,4	6,1

Quelle: FAO 1993b

2,7 m³/ha/Jahr (Norwegen), 3,6 m³/ha/Jahr (Finnland) bzw. 4,1 m³/ha/Jahr (Schweden) gesteigert.

Die Besitzverhältnisse in den drei skandinavischen Staaten sind durch den hohen Anteil an Privatwäldern gekennzeichnet. In Norwegen sind 77 % der Wälder im Besitz von 125 000 privaten Eigentümern, jeweils 10 % werden vom Staat bzw. von Unternehmen und Gesellschaften, 3 % werden von den Gemeinden verwaltet. In Schweden ist die Hälfte der Wälder in privater Hand, je ein Viertel gehört dem Staat bzw. ist im Besitz der Forstindustrie. Die finnischen Wälder sind zu 30 % Staats- und Körperschaftswald, 65 % sind in Privatbesitz und 7 % im Besitz von Aktiengesellschaften. Die Maxime einer nachhaltigen Nutzung gilt in gleicher Weise regional für alle Wirtschaftswälder, wird aber auf der betrieblichen Ebene nicht immer praktiziert.

Die Einschlagsraten liegen in allen Ländern deutlich unter dem jährlichen Nettozuwachs. In Schweden und Norwegen werden nur rund zwei Drittel des Zuwachses eingeschlagen, in Finnland knapp 80 % (UNECE/FAO 1992b). Mit einer Menge von knapp 100 Mio. m³ Rundholz sind die fennoskandischen Staaten zu etwa 2,7 % an der Weltproduktion beteiligt. Wesentlich höher ist ihr Anteil bei den Holzprodukten, insbesondere der Zellstoff- (ca. 15 %), Papier und Kartonproduktion (ca. 7,5 %). Auffällig ist die starke Exportorientierung der Holzindustrie. Weit über die Hälfte der Schnittholzproduktion, etwa 30 % der Zellstoff- und 78 % der Papierproduktion werden exportiert (Tab. 2.11).

Die drei Länder vereinigen damit auf sich ein Fünftel der weltweit erzielten Exporterlöse im Handel mit Holz und Holzprodukten (Tab. 2.3). In den nationalen Exporteinnahmen nimmt die Ausfuhr von Holzprodukten inklusive Papier und Pappe in Schweden einen Anteil von 20 % und in Finnland sogar von 40 % ein.

In Fennoskandien ist es mittlerweile weitgehend gelungen, durch eine gezielte Regelung der Waldnutzung gravierende ökologische Schäden zu vermeiden. Es ist jedoch zu bedenken, daß, wie in Mitteleuropa, praktisch die gesamten Wälder in relativ einförmige Forstbestände umgewandelt worden sind. Natürliche Wälder nehmen nur noch 1 bis 3 % der Waldfläche ein (Poker 1994 a). Die Umwandlung hat massive Auswirkungen auf die Biodiversität. So sind in Schweden etwa 1 000 Pflanzen- und Tierarten durch die forstwirtschaftlichen Aktivitäten in ihrem Bestand gefährdet. In Finnland sind 41 % der etwa 1 700 gefährdeten Arten durch die moderne Forstwirtschaft bedroht. Verschlimmert wird diese Situation durch den geringen Anteil der geschützten Wälder. In Schweden sind 2,6 %, in Finnland 1,5 % und in Norwegen gar nur 0,6 % der Waldflächen unter Schutz gestellt (TRN 1993).

Die Problematik wurde inzwischen auch von den zuständigen staatlichen Stellen erkannt und in allen drei Ländern eine Ausweitung der Schutzflächen in Angriff genommen. In Schweden soll ihr Anteil verdoppelt werden, in Norwegen weitere 0,6 % unter Schutz gestellt werden. Korsmo (1991) gibt jedoch an, daß mindestens 2 bis 2,5 % der Flächen unter Schutz

gestellt werden müßten, um zumindest representative naturnahe und natürliche Wälder langfristig erhalten zu können.

Die finnische Regierung hat kürzlich beschlossen, 150 Gebiete mit einer Gesamtfläche von 17 000 ha unter Schutz zu stellen. Davon sind 60 jedoch noch nicht eindeutig abgegrenzt (TRN 1993).

Die Artenvielfalt soll zumindest in Schweden darüber hinaus durch die Schaffung lebensraumverbindender Korridore, die Erhaltung von Ödflächen und Saumzonen sowie die stärkere Berücksichtigung von Mischwäldern bei der Wiederaufforstung erhöht werden. Zudem soll ein Teil des Totholzes in den Wäldern verbleiben (Thielbeer 1993).

Die geplanten Schutzmaßnahmen garantieren bislang jedoch nicht, daß die verbliebenen Urwälder in ausreichender Weise geschützt werden. So sind in Norwegen die nur in einem etwa 100 km breiten und 250 km langen Küstenstreifen nördlich von Trondheim auftretenden artenreichen Urwälder durch den zunehmenden Einschlag gefährdet. In Finnland sind vor allem die etwa 70 000 bis 80 000 ha umfassenden Urwälder in der Region Kainuu, nahe der russischen Grenze, vom Einschlag bedroht. In Schweden wurde inzwischen durch die massive Einschränkung des Einschlags in den Gebirgsregionen ein wichtiger Schritt zum Erhalt der letzten Naturwaldflächen getan. In Einzelfällen kommt es jedoch vor allem im nordwestlichen Teil des Landes immer noch zur Abholzung von Urwaldflächen (TRN 1993).

2.8.2 Schadstoffeintrag in die Wälder

Durch die anhaltenden Einträge von luftgetragenen Schadstoffen, vor allem Schwefel- und Stickstoffverbindungen, werden auch die Wälder in Fennoskandien spürbar geschwächt. Dabei wirkt sich auch der Ferntransport von Luftschadstoffen aus Mitteleuropa aus. Im Einzelfall ist jedoch ein direkter Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Krankheitssymptomen und den Stoffeinträgen schwer nachweisbar.

Tabelle 2.12

Anteil der Bäume (in Prozent) mit einem Nadel- bzw. Blattverlust von mindestens 25 Prozent in den Wäldern Fennoskandiens im Jahr 1989

	Finnland	Norwegen	Schweden
Alle Baumarten .	18,0	—	—
Nadelbäume ...	18,7	14,8	12,9
Laubbäume	12,6	—	—
Fichten			
— bis 60 J.	10,1	2,7	3,5
— über 60 J. ...	48,5	33,0	25,3
Kiefer			
— bis 60 J.	3,7	2,4	2,8
— über 60 J. ...	13,0	19,1	11,4

Quelle: UN-ECE 1991.

Im Rahmen einer Aufnahme des Gesundheitszustandes der Wälder durch die UN/ECE (1991), wurden der in Tab. 2.12 wiedergegebene Anteil an Bäumen mit einem Blatt- bzw. Nadelverlust von 25 % und mehr ermittelt. Räumlich konzentrierten sich die Waldschäden überwiegend in den südlichen Landesteilen. In Finnland traten die meisten geschädigten Bäume in

Lapland auf. Als Gründe wurden Überalterung, ungünstige Klima- und Witterungsverhältnisse und biotische Schäden angeführt (CEE-UN/ECE 1992a). Es wird geschätzt, daß sich der Zuwachs in den finnischen Wäldern infolge der Nährstoffauswaschung in versauerten Böden um bis zu 10 % verringern könnte (Mälkönen u. a. 1992).

3. Die Wälder der gemäßigten Zone

3.1 Abgrenzung und geographische Verbreitung

Unter den Wäldern der gemäßigten Zone, häufig auch als temperierte Wälder bezeichnet, werden die überwiegend sommergrünen Laubwälder verstanden, die in Gebieten mit einer Vegetationszeit von vier bis neun Monaten, kalten Wintern mit Schnee und milden bis warmen feuchten Sommern vorkommen. Eine eindeutige Definition existiert jedoch nicht. So werden häufig auch die Hartlaubgehölze bzw. subtropische Waldformationen im sommertrockenen Mittelmeerraum, dem Westen der USA und in Australien/Neuseeland zu den temperierten Wäldern gezählt. Vor diesem Hintergrund sind quantitative Angaben über das Verbreitungsgebiet der temperierten Wälder mit großen Unsicherheiten belastet. Die heute mit

Wald bestockten Flächen in der gemäßigten Zone werden von der FAO auf rund 770 Mio. ha geschätzt (zit. in IPCC 1992). Heath u. a. (1993) beziffern sie auf 600 Mio. ha. Rund 45 % davon entfallen auf Nordamerika, jeweils rund 17 % auf Europa und Rußland. Die verbleibenden 20 % verteilen sich auf Asien, Australien, Neuseeland und Südamerika (Abb. 3.1).

In Tabelle 3.1 wurde versucht, auf der Basis aller Länder, die ganz oder teilweise im gemäßigten Klimabereich liegen, die heutige Fläche der Wälder der gemäßigten Zone überschlägig abzuschätzen. Dies erfolgt jedoch nicht nach vegetationsgeographischen Kriterien, sondern orientiert sich an nationalen Statistiken. Dabei werden auch Wälder einbezogen, die hinsichtlich ihrer Struktur und Artenzusammensetzung

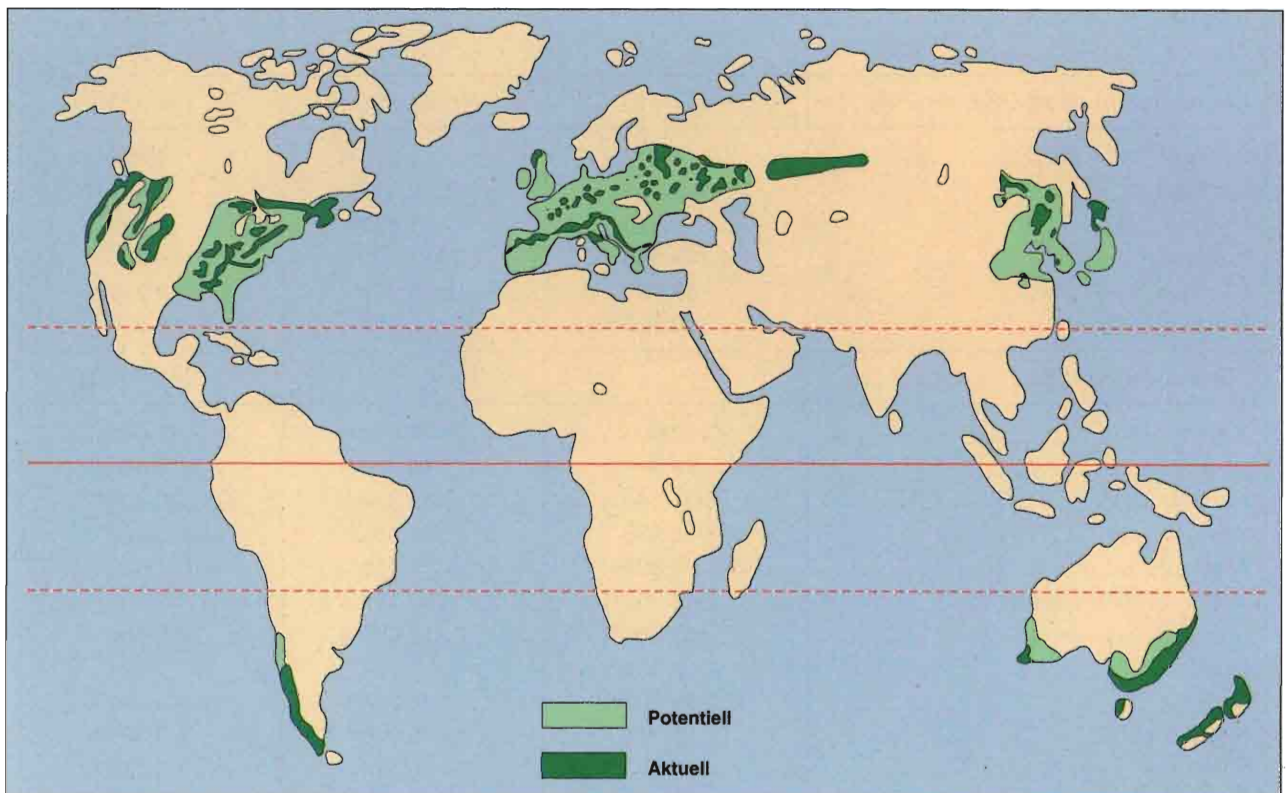


Abbildung 3.1: Geographische Verbreitung der temperierten Wälder
Quellen: EK 1990a, Heath u. a. 1993

Tabelle 3.1

**Landfläche, Gesamtwaldfläche und Anteil der temperierten Wälder in Ländern,
die ganz oder teilweise in der gemäßigten Zone liegen**

Land/Region	Landfläche	Waldfläche	temperierte Wälder
	in 1000 ha		
Albanien	2 775	1 449	1 449
Belgien	3 025	620	620
Bulgarien	11 019	3 684	3 684
Dänemark	4 253	466	466
Bundesrepublik Deutschland	34 934	10 735	10 735
Finnland	30 462	23 373	500 ²⁾
Frankreich	54 325	14 548	14 548
Griechenland	12 926	6 032	6 032
Großbritannien	24 086	2 380	2 380
Irland	6 890	429	429
Italien	30 128	8 550	8 550
ehemaliges Jugoslawien	25 540	9 453	9 453
Luxemburg	257	88	88
Niederlande	3 392	334	334
Norwegen	30 688	9 565	1 700 ²⁾
Österreich	8 254	3 877	3 877
Polen	30 445	8 672	8 672
Portugal	8 655	3 102	3 102
Rumänien	22 954	6 265	6 265
Spanien	49 937	25 622	25 622
Schweden	40 823	28 015	6 400 ²⁾
Schweiz	3 976	1 186	1 186
ehemalige CSFR	12 540	4 491	4 491
Ungarn	9 213	1 675	1 675
Zypern	916	280	280
Europa (ohne ehemalige UdSSR) ...	452 413	174 891	122 538
Estland	4 522	1 816 ²⁾	1 816 ¹⁾
Lettland	6 450	2 637 ²⁾	2 637 ¹⁾
Litauen	6 520	1 823 ²⁾	1 823 ¹⁾
Rußland	1 707 540	771 000	100 000 ³⁾
Ukraine	57 955	9 239	9 239
Weißrußland	20 700	6 256	6 256
Ehemalige UdSSR			(42 700) ⁴⁾
Argentinien	273 600 ¹⁾	61 600 ¹⁾	61 600
Chile	74 900 ¹⁾	16 900 ¹⁾	7 500 ³⁾
Kanada	921 500	453 300	26 800 ⁵⁾
USA	913 658	295 989	243 200 ⁶⁾
Afghanistan	64 800 ¹⁾	1 900 ¹⁾	1 900
Volksrepublik China	932 600 ¹⁾	155 500 ¹⁾	45 000 ³⁾
Iran	163 600 ¹⁾	18 000 ¹⁾	18 000
Israel	2 031 ¹⁾	124 ¹⁾	124
Japan	36 460	24 718	ca. 8 200 ⁷⁾
Nordkorea	12 041	9 000	9 000 ⁸⁾
Südkorea	9 873	6 515	6 515 ⁸⁾
Pakistan	77 100 ¹⁾	3 700 ¹⁾	3 700
Türkei	77 079	20 199	20 199

Land/Region	Landfläche	Waldfläche	temperierte Wälder
	in 1000 ha		
Australien	754 402	145 613	39 500
Neuseeland	26 784	7 472	7 472
Gesamt	6 596 528	2 188 192	742 739 (663 668)

1) Maydell u. a. 1992

2) Kuusela 1992

3) Heath u. a. 1993

4) Nach UN-ECE/FAO (1992b); Diese Zahl deckt sich nicht mit den für die einzelnen Mitgliedstaaten der GUS angegebenen Waldflächen und steht deshalb in Klammern. Sie wurde nur bei der ebenfalls in Klammern stehenden Gesamtfläche der temperierten Wälder berücksichtigt.

5) Nur Ostkanada; Heath u. a. 1993

6) USA ohne Alaska und Hawaii; Birdsey 1992

7) Etwa ein Drittel der japanischen Wälder werden zu den temperierten Wäldern gezählt.

8) Die koreanischen Wälder liegen zum Großteil in der gemäßigten Zone; über den genauen Anteil liegen keine Daten vor.

Quelle: UN-ECE/FAO 1992b

zung nicht zu den eingangs beschriebenen sommergrünen Laubwäldern gehören (z. B. mediterrane Hartlaubgehölze, Wälder im Übergang zu den Subtropen sowie Gebirgswälder mit borealem Charakter). Die Auswahl der Länder basiert im wesentlichen auf der Erhebung der UN-ECE/FAO (1992b) und dem Bericht des BML (1989) an das IPCC. Auf dieser Basis ergibt sich in der gemäßigten Zone eine von verschiedenen Waldökosystemen eingenommene Fläche von etwa 660 bis 740 Mio. ha.

Auf der Nordhalbkugel gehen die temperierten Wälder im Norden in die boreale Zone und im Süden in die kontinentalen Steppen über. Auf der Südhalbkugel grenzen sie an die subtropischen Waldformationen.

Die temperierten Wälder sind weitgehend vom Menschen gerodet worden. Heute sind nur selten mehr als 40 % der Fläche in den Ländern der gemäßigten Zone noch bewaldet. Lediglich in einigen Staaten der westlichen USA und in Japan sind aktuell 50 bis 70 % des Landes mit Wald bestockt (Heath u. a. 1993). Von wenigen Ausnahmen abgesehen sind die verbliebenen Wälder in starkem Maße anthropogen verändert. Entsprechend soll im folgenden Punkt nur ein kurzer schematischer Abriß über die verschiedenen natürlichen Waldtypen in der gemäßigten Zone erfolgen.

3.2 Die Waldtypen in der gemäßigten Zone

Die Standortbedingungen in der gemäßigten Zone variieren relativ kleinräumig. Dies schlägt sich in einem Mosaik aus verschiedenen (potentiell natürlichen) Waldformationen nieder.

Die Wälder in West- und Mitteleuropa sind durch das atlantisch bestimmte Klima mit Regen in allen Jahreszeiten, milden bis warmen Sommern und relativ milden Wintern geprägt. Die natürlicherweise dominierende Waldform sind Buchen-Mischwälder. Dazu kommen je nach Standort Stiel- und Traubeneiche

sowie vor allem auf Aueböden und in mittleren Hanglagen eine Reihe verschiedener Laubholzarten. Auf besonders trockenen Standorten stellt die Kiefer die dominierende Baumart dar. In den Hochlagen der Mittelgebirge und den Hochgebirgen überwiegen Nadelhölzer, vor allem die Fichte. Dazu kommen Weißtannen, Kiefern und Europäische Lärche.

Die Wälder in Osteuropa und Vorderasien lassen sich in drei Wuchsgebiete unterteilen. Östlich des Bosphorus' entlang der Küste des Schwarzen Meeres erstrecken sich in einem schmalen Streifen vorwiegend Buchen-, Eichen- und Nadelwälder bis zur Krim und bilden nordöstlich des Schwarzen Meeres ein größeres Waldgebiet in den Kaukasus-Vorbergen, das bis in den Iran reicht.

Die osteuropäische Eichen- und Waldsteppenregion zieht sich in einem Streifen von Brest über den Zusammenfluß von Pripet und Dnjepr bis zum Südrural hin. Diese sogenannte Waldsteppe ist durch ein Mosaik aus Grasländern mit Beständen aus Eichen, Kiefern und anderen Arten charakterisiert.

Die nordosteuropäische Nadel- und Laubmischwaldregion ist bereits durch ein kontinentales Klima geprägt. Die Nordgrenze dieser Teilzone verläuft von Südkandinavien über das Baltikum zum Südrural. In der nördlichen Hälfte dieses Gebietes überwiegen Fichten und Kiefern sowie Stieleichen, Birken, Ulmen, Linden und Schwarzerlen. Im südlichen Gebiet kommen bis zur Ostgrenze Weißrußlands zusätzlich Hainbuchen vor. Der Anteil der Laubbäume ist hier größer.

Die temperierten Wälder Ostasiens erstrecken sich über Teile Chinas, Koreas und Japans. Die Wälder sind hier wesentlich artenreicher als in den anderen gemäßigten Gebieten, da die Verschiebung der Vegetationszonen während eines Eiszeit-Warmzeit-Zyklus gering blieb. Es finden sich unter anderem Relikte der Flora des Tertiärs. In der Mandschurei und der inneren Mongolei befinden sich im Übergangsbereich von

der borealen zur gemäßigten Klimazone die größten zusammenhängenden Wälder Chinas mit Eichen, Eschen, Ahorn, Pappeln, Birken, Tannen, Fichten, Kiefern und Lärchen. Für die Wälder auf der japanischen Insel Honshu und im Süden Hokkaidos sind zwei Buchenarten typisch. In Korea sind vor allem im nordwestlichen Bergland den chinesischen und japanischen Wäldern sehr ähnliche Waldtypen erhalten.

Die ausgedehntesten Wälder der gemäßigten Zone finden sich in den USA. Die Wälder erstrecken sich im wesentlichen zwischen dem 30. Breitengrad und der kanadischen Grenze. Die größte Ausdehnung weisen aufgrund ihrer weitgefächerten Standortamplitude Eichen- und Eichen-Nußbaum-Wälder auf. Im einzelnen lassen sich vier unterschiedliche Waldgebiete voneinander abgrenzen.

Die Laub- und Mischwälder im Nordosten der USA, auch „Eastern Hardwoods“ genannt, haben strukturelle Ähnlichkeit mit den Wäldern im atlantisch geprägten Teil Europas. Charakteristische Baumarten sind Eiche und Nußbaum, die mit zahlreichen anderen Laubhölzern durchsetzt sind. Nadelbestände kommen nur begrenzt vor, meist mit Kiefern, Fichten, Hemlock und Thuja.

Die Wälder des Südens und Südostens der USA waren durch das Vorherrschen der Kiefer (*Pinus palustris*) gekennzeichnet. Durch die Aufforstung ehemaliger Ackerflächen ist sie durch andere Kiefernarten stark zurückgedrängt worden.

Die Laubwälder im Südosten („Southern Hardwoods“) konzentrieren sich vor allem auf die Auebereiche der weiten Flußtäler (z. B. Mississippi). Wichtige Baumarten sind Eiche, Schwarznuß und Nußbaum.

An der Westküste haben sich Feuchtwälder entwickelt. Sie beginnen mit den Redwood-Beständen in Nordwest-Kalifornien, umfassen die Wälder der Sierra Nevada mit Kiefern und Mammutbäumen und die Douglasienwälder in Oregon und Washington. Die sehr feuchten Bedingungen (bis 4 000 mm/Jahr) lassen hier mit über 100 m hohen Douglasien und Mammutbäumen die höchsten Bäume der Welt gedeihen. Pro Hektar finden sich Holzvorräte von 1 500 bis maximal 10 000 m³.

3.3 Die Entwicklung der Wälder der gemäßigten Zone

Der größte Teil der heutigen gemäßigten Zone war während der letzten Eiszeit entwaldet. Mit der postglazialen Erwärmung konnten in Nordamerika und Ostasien die nach Süden zurückgedrängten Baumarten wieder nach Norden wandern. In Europa hatten dagegen die in West-Ost-Richtung streichenden Gebirge ein Ausweichen der Baumarten nach Süden verhindert. Dadurch starben viele der ursprünglich hier beheimateten Arten aus, z. B. Nußbaum, Magnolie, Sequoia und Douglasie. Die Artenzahl der europäischen temperierten Wälder ist daher relativ gering.

Die nacheiszeitliche Waldausbreitung ist am besten für Europa belegt. Hier setzte sie vor etwa 10 000 Jahren mit dem Vorrücken von Birken, Kiefern und Haselnuß ein, denen sich unter zunehmend warmen

und trockenen Bedingungen Eichen beimischten. Diese stellten für mehr als 3 000 Jahre die dominierende Baumart dar und drängten die vormals weitverbreitete Kiefer auf ärmere Standorte ab. Die Jahresmitteltemperatur lag in dieser Zeit höher als heute.

Vor etwa 3 500 Jahren sanken die Temperaturen, und die Niederschläge nahmen zu. In der Folge fand die Buche günstigere Wuchsbedingungen und begann sich von Süden her in Mitteleuropa auszubreiten. Sie benötigte etwa 3 000 Jahre, um zwischen den Alpen und Norddeutschland zur dominierenden Baumart zu werden. Dieser sehr lange Zeitraum ist wahrscheinlich auf die vor 5 000 Jahren einsetzenden und vor 2 500 Jahren schon sehr intensiven Waldrodungen zurückzuführen, die die Wanderung der Arten erheblich behindert haben (Jahn 1991). Der Mensch trat also vermutlich schon sehr früh als ein bestimmender Faktor für die temperierten Wälder in Erscheinung. Belegt wird dies auch durch Heideflächen, die sich bereits in der Bronzezeit (vor etwa 3 500 Jahren) nach wiederholter Brandrodung auf nährstoffarmen Standorten in den sandigen Gebieten Norddeutschlands ausdehnten.

Mit der zunehmenden Besiedlung Mitteleuropas nahm die Waldfläche im Verlauf des Mittelalters rapide ab. Der Wald wurde zunehmend in landwirtschaftliche Nutzflächen umgewandelt bzw. als Quelle für Brenn- und Bauholz sowie Streu (Düngung und Stallviehhaltung) genutzt. Er diente zudem der Viehweide. Als Folge dieser vielfältigen Nutzung lichteten die Wälder immer stärker auf, da ihnen mit der Streu die Nährstoffe entzogen und die Verjüngung durch Viehverbiß erheblich eingeschränkt wurde. Lediglich als Folge der durch Pestepidemien und Kriege verursachten Bevölkerungsabnahme in Mitteleuropa kam es zwischenzeitlich zu einer leichten Ausdehnung der Wälder zwischen dem 13. und 16. Jahrhundert.

In der Neuzeit erhöhte sich durch den ansteigenden Bedarf an Bauholz (Schiffbau) und die beginnende Industrialisierung (Bergbau und Energie) der Holzverbrauch erheblich. Je nach Standortgüte wurden die Wälder alle 10 bis 30 Jahre kahlgeschlagen. Zudem dehnte sich die Niederwaldwirtschaft aus, die in erster Linie der Holzkohlegewinnung diente. Dadurch wurden die wenig stockausschlagfreudigen Buchen und die Nadelbäume aus weiten Gebieten Mitteleuropas verdrängt. Im 18. Jahrhundert erreichte die Walddevastation ihren Höhepunkt. Der damit verbundene akute Holzmangel behinderte die weitere wirtschaftliche Entwicklung und führte nach und nach zum Umdenken in der Waldnutzung. Die Landwirtschaft beanspruchte aufgrund der Intensivierung und züchterischen Verbesserungen sowie der Verlagerung der Viehwirtschaft auf Wiesen, Weiden und Futteranbau den Wald nunmehr weit weniger. Der Nutzungsdruck reduzierte sich des Weiteren durch den Ersatz von Brennholz durch Kohle, später auch Konstruktionsholz durch Stein und Stahl. Seit dem Beginn dieses Jahrhunderts wurde zudem die Streunutzung immer mehr durch die Mineraldüngung ersetzt, was zu einer bis heute feststellbaren Verbesserung der Wuchsbedingungen in den Wäldern führte.

Etwa ab Mitte des 19. Jahrhunderts begann die Periode der Wiederaufforstung und die Einführung

eines nachhaltigen Bewirtschaftungssystems. In den verbliebenen Wäldern erholte sich die Buche und nahm vielfach wieder ihre dominierende Stellung ein. Die Kahlf Flächen wurden vielerorts mit relativ anspruchslosen Fichten, Kiefern und Lärchen bepflanzt bzw. besät. Die nicht standortgerechte Förderung der Nadelbäume auf Laubwaldstandorten hat zu vielen Fehlschlägen geführt und wurde inzwischen verringert (Jahn 1991).

In Ostasien verlief die Entwicklung ähnlich wie in Mitteleuropa. Auch hier kommen kaum noch ungestörte temperierte Wälder vor (Ching 1991). In ihrem potentiellen Hauptverbreitungsgebiet in der Tiefebene des östlichen Mittelchinas sind sie überwiegend in Agrarland umgewandelt worden. Seit Anfang der 50er Jahre werden große Anstrengungen zur Wiederbewaldung unternommen. Der Waldanteil an der Landesfläche stieg von 8,5 % auf nunmehr 12 %, angestrebt wird eine Bewaldung von 20 %.

Über die historische Entwicklung der japanischen Wälder ist wenig bekannt. In den schwer zugänglichen Gebirgsregionen sind ausgedehnte Naturwälder erhalten. Der größte Teil der Wälder ist durch langjährige Nutzung modifiziert, bereits ein Drittel des Waldes ist in Plantagen umgewandelt worden.

Die koreanischen Wälder sind infolge langjähriger Übernutzung stark degradiert. Große Flächen, besonders in Süd-Korea, wurden während des letzten Krieges entwaldet. Seit Anfang der 70er Jahre fanden großflächige Aufforstungen statt. Daher sind in Süd-Korea 80 % der Wälder jünger als 20 Jahre (Statistisches Bundesamt 1992).

In Nordamerika setzten tiefgreifende und großflächige Waldveränderungen erst mit der Kolonialisierung vor etwa 400 Jahren ein. Das heutige Gebiet der USA (inkl. Alaska) war damals zu mehr als der Hälfte mit Wald bedeckt. Der größte Teil der Wälder befand sich in einem breiten Streifen, der sich im Osten der USA zwischen Maine und dem Mississippi ausdehnte. Vornehmlich in diesem Gebiet wurden bis zum Anfang des 20. Jahrhunderts 150 Mio. ha Wald in Siedlungen und landwirtschaftliche Nutzfläche umgewandelt. Seit etwa 1920 hat sich die Größe der Waldfläche stabilisiert und beträgt heute etwa ein Drittel der Landfläche. Regional haben sich die Waldflächenanteile jedoch durch die Wiederbewaldung aufgelassener landwirtschaftlicher Flächen im Osten und die Öffnung neuer landwirtschaftlicher Flächen im mittleren Westen verändert (MacCleery 1992).

Wie in Europa haben künstliche Bestandsbegründungen die Artenzusammensetzung stark beeinflusst. Zudem haben massive Waldzerstörungen durch Brandrodung, Absenken des Grundwasserspiegels, Aufstauen der Flüsse und Übernutzung einzelner Baumarten zu tiefgreifenden Veränderungen geführt. Es kann heute nicht abgeschätzt werden, ob die Sukzession in einigen Generationen wieder zum ursprünglichen Schlußwald führt oder ob sich neue Klimaxwaldtypen ausbilden werden (Barnes 1991).

3.4 Die Bedeutung der Wälder der gemäßigten Zone

Die Wälder der gemäßigten Breiten erfüllen eine Vielzahl von Funktionen und Leistungen. Neben der

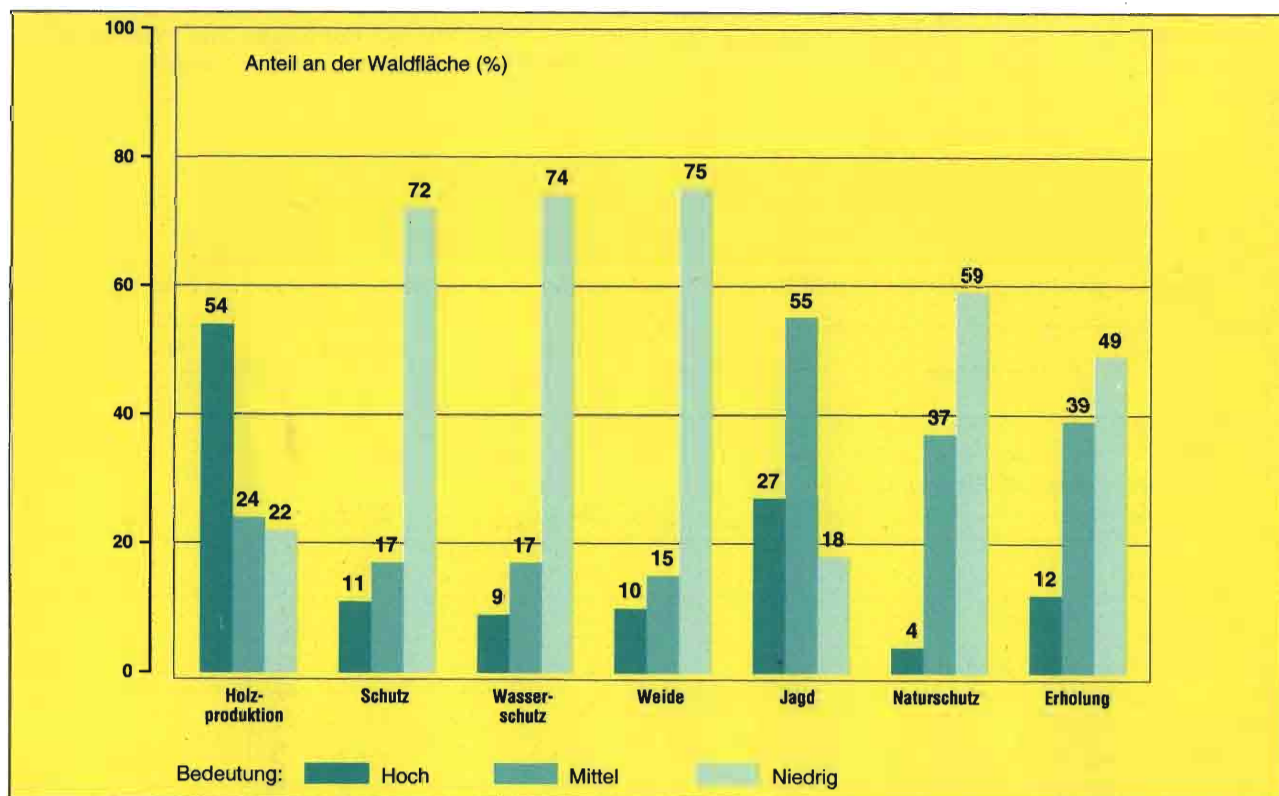


Abbildung 3.2: Bedeutung der Waldfunktionen als Anteil an den Waldflächen in den europäischen Ländern
Quelle: UN-ECE/FAO 1992a

Bereitstellung von Rohstoffen, vor allem Holz, kommt ihnen eine erhebliche Bedeutung für den Schutz von Böden und Grundwasser zu. Sie sind Lebensraum für zahlreiche Tier- und Pflanzenarten und dienen, insbesondere in dicht besiedelten Regionen, als Erholungsraum. Sie sind darüber hinaus von landschaftsästhetischem Wert und Schützen den Mensch vor allem in Gebirgsregionen vor Überschwemmungen, Lawinen und Erdbeben. In einigen Ländern, vor allem im Süden und Südosten Europas und in Asien, werden die Wälder zudem immer noch als Waldweide genutzt.

Laut UN-ECE/FAO (1992a) dienen die Wälder in Europa in erster Linie der Holznutzung, der Jagd und der Erholung. Jeweils weniger als 10 % der Waldfläche sind in erster Linie als Schutzwälder ausgewiesen oder dienen prioritär dem Wasser- und Naturschutz (Abb. 3.2). Allerdings sind die Kriterien für die Zuordnung und die Bedeutsamkeit spezieller Waldfunktionen von Land zu Land unterschiedlich.

3.4.1 Bedeutung für das globale Klima

Für den Einfluß der temperierten Wälder auf das globale Klimageschehen ist in erster Linie ihr Kohlenstoffhaushalt, ihre Rolle im Wasserkreislauf und die Albedo ausschlaggebend. Die starken Eingriffe des Menschen haben diese Einflußfaktoren deutlich verändert. Die ausgedehnte Rodungstätigkeit hat einerseits zur Freisetzung von CO₂ in der Atmosphäre geführt. Dieser Prozeß lief über relativ lange Zeiträume ab und war kaum klimarelevant. Im Vergleich dazu dürfte die Veränderung der Verdunstung (Wolkenbildung) und der Strahlungsverhältnisse das Klima stärker beeinflusst haben.

Heute wird vermutet, daß die Wälder der gemäßigten Zone zur Zeit eine Kohlenstoffs Senke darstellen und so dem anthropogen hervorgerufenen CO₂-Anstieg in der Atmosphäre entgegenwirken. Heath u. a. (1993) beziffern den Kohlenstoffgehalt temperierter Wälder auf insgesamt etwa 100 Mrd. t, davon rund 34 Mrd. tC in der lebenden Biomasse. Die jährliche Nettoaufnahme schätzen sie auf 0,2 bis 0,5 Mrd. tC. Die Grundlage dieser Einschätzung ist die Differenz zwischen Biomassenzuwachs (205 Mrd. tC/Jahr) und Holzentnahme (192 Mrd. tC/Jahr), die innerhalb der meisten Länder der gemäßigten Zone innerhalb der letzten Jahrzehnte zu einem Anstieg der Waldbiomasse geführt hat (vgl. Kap. 6). Andere Schätzung belaufen sich auf ein Gesamtspeichermenge von 25 Mrd. tC in der Biomasse (IPCC 1992). Die in IPCC (1990a) zitierte Schätzung von Atjay u. a. (1979), nach der die temperierten Wälder 88 Mrd. tC in der Biomasse und weitere 72 Mrd. tC im Abfall und in Böden speichern, erscheint dagegen zu hoch angesetzt.

Die zu erwartenden Klimaänderungen stellen zusammen mit der destabilisierenden Wirkung des langanhaltenden Stoffeintrages in die Wälder eine ernste Gefährdung für die Wälder der gemäßigten Breiten dar, die in absehbarer Zeit zu einer erheblichen Netto-Freisetzung von Kohlenstoff aus den Waldökosystemen der gemäßigten Zone führen kann (vgl. Kap. 6).

3.4.2 Wirtschaftliche Bedeutung

Der Holzeinschlag in den Ländern der gemäßigten Zone erreicht weltweit eine Größenordnung von jährlich etwa 1 100 Mio. m³, die sich im Jahr 1991 wie folgt auf die verschiedenen Regionen verteilt.

Tabelle 3.2

Einschlagsvolumen, Nutzholz- und Brennholzaufkommen in der gemäßigten Zone im Jahr 1991

Land/Region	Einschlag	Nutzholz	Brennholz
	in Mio. m ³		
Europa (ohne ehemalige UdSSR, Finnland, Norwegen und Schweden)	254,4	201,5	52,9
USA	495,8	409,9	85,9
Ostasien (China, Nord- und Südkorea und Japan) ...	321,8	120,6	201,1
Sonstige (Neuseeland, Chile, Australien)	52,1	26,0	6,9
Gesamt	1 124,1	758,0	346,8

Quelle: FAO 1993b

Tabelle 3.3

**Gesamtvorrat, jährlicher Vorratzuwachs, jährlicher Holzeinschlag Ende der 80er Jahre,
Biomassevorrat in m³ und in t Trockengewicht teils bezogen auf den Gesamtwald,
teils auf den Wirtschaftswald (UN-ECE/FAO, 1992 b)**

Land/Region	Gesamtvorrat	Zuwachs im Wirtschaftswald	Einschlag im Wirtschaftswald	Biomassevorrat	
	(Mio. m ³)	(Mio. m ³ /a)		(Mio. m ³)	(Mio. t)
Europäische Länder					
Albanien	83	1,39	2,06	—	—
Belgien	92	4,60	3,43	118	55
Bulgarien	405	10,58	4,76	405	—
Dänemark	58	3,85	2,54	86	41
Bundesrepublik Deutschland	2 674	58,13 ^{e)}	42,82	—	—
Frankreich	1 875	68,86	48,00	2 503	1 311
Griechenland	169	3,65	3,38	169	92
Großbritannien	231	13,07	8,14	312	145
Irland	32	3,36	1,57	39	14
Italien	993	30,00	8,60	250	—
ehemaliges Jugoslawien	1 134	32,29	22,40	1 478	—
Luxemburg	20 ^{e)}	0,36	—	—	—
Niederlande	63	2,80	1,52	83	—
Österreich	998	24,00	17,40	1 070	485
Polen	1 432	32,12	28,58	2 063	939
Portugal	203	11,93	11,25	248	135
Rumänien	1 332	32,11	16,65	1 395	690
Spanien	540	33,49	18,53	748	640
Schweiz	423	6,67	5,76	428	229
ehemalige CSFR	996	31,2	20,20	1 199	—
Türkei	813	20,6 ^{e)}	30,22	—	—
Ungarn	305	10,47	7,79	305	197
Summe europäischer Länder ^{*)}	14 871	435,5	305,60		
Nordamerika:					
Vereinigte Staaten	28 522 ¹⁾	638,00 ²⁾	619,60	39 048	22 329
Ostasien:					
Volksrepublik China ³⁾	10 572	—	270,00	—	—
Nordkorea ⁴⁾	158	—	4,60	—	—
Südkorea ⁵⁾	201	13	6,8	—	—
Japan	2 862	—	42,07	—	—

1) Vorrat ohne Rinde

2) (Haynes, 1990)

3) (Dai, 1990), 65 % Brennholz, gibt jährliche Übernutzung von 170 Mio. m³ an4) (Müller, 1987), davon 4 Mio. m³ Brennholz

5) (Office ..., o. J.), (Statistisches Bundesamt, 1992 c): 67 % Brennholz

*) Zu den europäischen Ländern sind ferner die baltischen Staaten zu zählen (FAZ, 1992):

	Estland	Lettland	Litauen
Gesamtvorrat (Mio. m ³)	260	290	220
Zuwachs (Mio. m ³ /a)	5,3	—	3,3
Einschlag (Mio. m ³ /a)	3,3	3,5	2,7

Quelle: UN-ECE/FAO 1992b

Tabelle 3.4

Gesamtholzbilanz für die Bundesrepublik Deutschland (in Rohholzäquivalenten, RHÄ)

Aufkommen	1991	1992	Verbleib	1991	1992
Einschlag (KJ)	32,1 R	27,7	Lagerbestände, Zunahme . .	1,4 ³⁾	—
Altpapier, Inlandsaufkommen	22,0 R	22,9	Ausfuhr	50,9	51,0
Altholz zur stofflichen Verwertung . .	0,3 ⁴⁾	0,4 ⁴⁾	Verbrauch	87,2 R	88,3
Einfuhr	77,3	80,3			
Lagerbestände, Abnahme . .	7,7 ¹⁾	8,0 ²⁾			
Gesamtaufkommen	139,5	139,3	Gesamtverbleib	139,5	139,3

1) Abnahme in Waldlager (geschätzt)
2) 7,0 Mio. m³ (geschätzt) Abnahme in Waldlager; 1,0 Mio. m³ (r) Abnahme in Industrielager
3) Aufbau in Industrielager
4) geschätzt; Altholz erstmals berücksichtigt
R = gegenüber Vorjahr geänderte Zahl
KJ = kalenderjahrbezogene Daten
Quelle: Ollmann, 1993a

Bei dieser Abschätzung ist zu bedenken, daß große Teile der Wälder Chinas, Japans, Nord- und Südkoreas, Australiens sowie Chiles nicht zu den temperierten Wäldern gezählt werden. Andererseits fehlt in dieser Auflistung der Einschlag in den temperierten Wäldern der ehemaligen UdSSR und Fennoskandiens.

Eine detaillierte Zusammenstellung des Einschlagsvolumens, des Zuwachses in den Wirtschaftswäldern sowie der gesamten Holzvorräte in den Ländern der gemäßigten Breiten vermittelt die Tabelle 3.3, die sich auf die Situation Ende der 80er Jahre bezieht.

Die Bundeswaldinventur 1986—1990 ermittelte für die Wälder in den alten Bundesländern einen Gesamtholzvorrat von 2 200 Mio. m³ (BML 1993b). Setzt man für die Wälder in den neuen Ländern ähnliche Vorratsdichten voraus, dürfte der Holzvorrat im heutigen Bundesgebiet rund 3 100 Mio. m³ betragen. Der jährliche Zuwachs ist nicht erhoben worden. Die UN-ECE/FAO (1986, zitiert in Burschel u. a. 1993) schätzt ihn für die heutige Bundesrepublik auf knapp 60 Mio. m³ pro Jahr. Dem steht in den Jahren 1991 und 1992 ein Gesamtholzverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland von jeweils knapp 140 Mio. m³ gegenüber. Etwa 50 Mio. m³ davon wurde für den Export verwendet, knapp 90 Mio. m³ wurden in der Bundesrepublik selbst verbraucht (Tab. 3.4).

Etwa 30 bis 35 Mio. m³ Holz werden jährlich in den deutschen Wäldern eingeschlagen. Rund 80 Mio. m³ (als Rohholzäquivalent (RHÄ)) werden in Form von Rohholz, Halbfertigprodukten (Schnittholz, Zellstoff etc.) und Fertigprodukten (Möbel, Fenster u. ä.) importiert. Allein die jährlich nach Deutschland eingeführten rund 3,5 Mio. t Zellstoff entsprechen einer äquivalenten Rohholzmenge von rund 20 Mio. m³. Ebenfalls etwa 20 Mio. m³ Rohholz entspricht die eingesammelte Altpapiermenge. Ferner sind zumin-

dest zu Beginn der 90er Jahre größere Holzmengen aus den Lagerbeständen der Vorjahre in die Produktion von Holzprodukten eingegangen (ca. 8 Mio. m³ pro Jahr). Das Gesamtaufkommen an Holz betrug in der Bundesrepublik in etwa 140 Mio. m³ (Tab. 3.4)

In den Wirtschaftswäldern der europäischen Länder werden durchschnittlich 70 % des jährlichen Volumenzuwachses genutzt, in den USA über 95 Prozent. In Albanien, der Türkei und der VR China fanden in den letzten Jahren starke Übernutzungen statt. Allein in Tibet nahm die Waldfläche zwischen 1949 und 1985 von etwa 22 auf gut 13 Mio. ha ab. Maßgeblicher Grund dafür war die massive Ausweitung von Kahlschlägen (Norbu 1993). Umgekehrt wurden in China in den 80er Jahren etwa 6,5 Mio. ha aufgeforstet (FAO 1993c). Dabei handelte es sich im wesentlichen um schnellwachsende plantagenartige Bestände. Für die kommenden 20 bis 30 Jahre sind weitere 70 Mio. ha Aufforstungen geplant. Die Waldbedeckung soll sich dadurch von heute 13 % auf 20 % erhöhen. In der Regel handelt es sich um Plantagenaufforstungen mit Pappeln, Eukalyptus und anderen schnellwachsenden Baumarten. Rund 70 % der Aufforstungen schlagen fehl, so daß das Erreichen des ehrgeizigen Zieles äußerst fraglich ist (GTZ 1993, Fenner 1993).

3.5 Die neuartigen Waldschäden

Die Waldflächen in den Ländern der gemäßigten Zone haben sich in den vergangenen Jahrzehnten weitgehend stabilisiert und nehmen vor allem in den Industrieländern tendenziell zu. Die Stabilität der Wälder ist jedoch durch anthropogene Einflüsse gefährdet. Im Vordergrund steht dabei der Eintrag von luftgetragenen Schadstoffen, der maßgeblich für die in Mitteleuropa und Nordamerika zu beobachtenden neuartigen Waldschäden verantwortlich ist. Unter diesem Begriff werden die seit über 10 Jahren massiv auftretenden

Krankheitssymptome an Bäumen zusammengefaßt. Im wesentlichen handelt es sich dabei um den teilweisen bis völligen Verlust oder die Vergilbung der Nadeln bzw. Blätter und die damit einhergehende Verlichtung der Kronen. Derartige Symptome wurden zwar bereits im vergangenen Jahrhundert beobachtet. Neuartig ist jedoch das großräumige Auftreten und die Ausdehnung der Symptome auf praktisch alle Baumarten.

3.5.1 Inventurmethode und beobachtetes Ausmaß

3.5.1.1 Bundesrepublik Deutschland

Das Ausmaß der Waldschäden wird in der Bundesrepublik Deutschland in den alten Bundesländern seit 1984, in den neuen Bundesländern seit 1990 jährlich nach einer einheitlichen Inventurmethode erhoben. Dazu werden anhand der Schnittpunkte eines Gitternetzes mit einer Minstdichte von 4 x 4 km Stichprobenpunkte festgelegt, an denen eine bestimmte Anzahl von Probabäumen systematisch ausgewählt und sichtbar markiert wird. In bestimmten Jahren wird auf Bundesebene nur ein Teil der Stichproben erfaßt (Unterstichprobe). Die Probabäume werden jährlich im Zeitraum von Juli bis September durch Fachpersonal hinsichtlich ihres Zustandes begutachtet und die gewonnenen Daten auf die gesamte Waldfläche hochgerechnet.

Entscheidendes Kriterium ist dabei der Kronenzustand bzw. der Nadel-/Blattverlust als Indikator für die

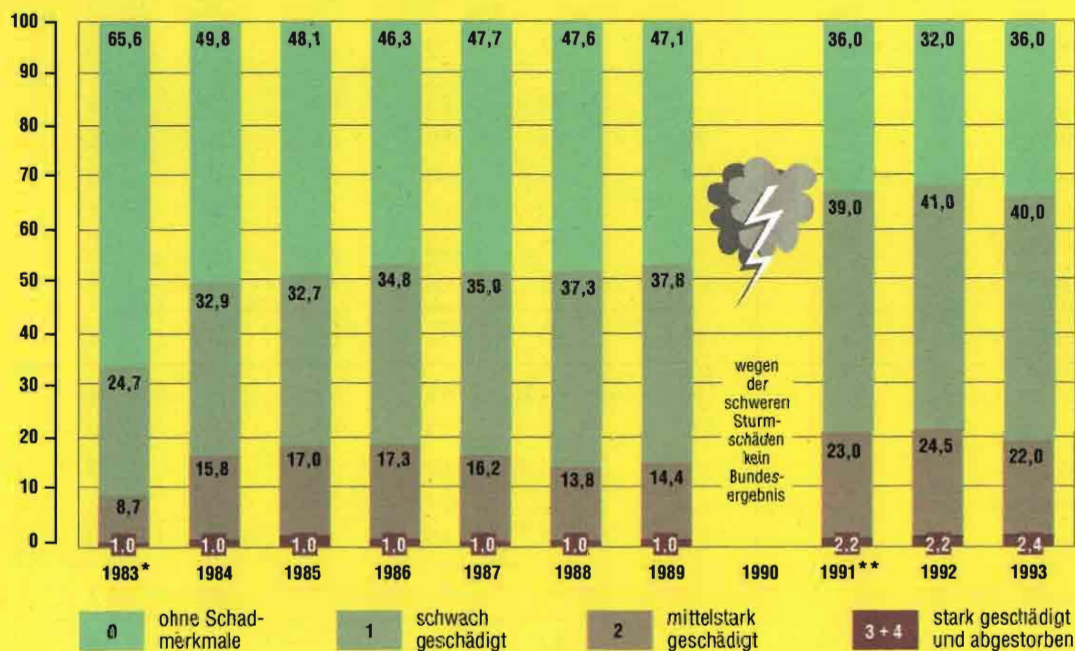
Vitalität des Baumes. Anhand dieser Schätzung werden die Bäume in fünf Schadstufenklassen eingeteilt (BML 1993a).

Schadstufe	Nadel-/Blattverluste (%)
0: „ohne Schadmerkmale“ ..	bis 10
1: „schwach geschädigt“	11—25
2: „mittelstark geschädigt“ ..	26—60
3: „stark geschädigt“	61—99
4: „abgestorben“	100

Die Schadstufe 1 gilt als Warnstufe, da auch nicht erkrankte Bäume bis zu 25 % ihrer Blätter bzw. Nadeln zeitweise verlieren können. Treten an einem Probebaum zusätzlich mittlere oder starke Vergilbungen auf, wird die Schadstufe erhöht. Dabei kommt folgende Kreuztabelle zur Anwendung:

Einstufung aufgrund Nadel-/Blattverlust	Vergilbungsstufe Anteil der vergilbten Nadel-/Blattmasse		
	1 (11 bis 25 %)	2 (26 bis 60 %)	3 (61 bis 100 %)
	Schadstufe		
0	0	1	2
1	1	2	2
2	2	3	3
3	3	3	3

Waldfläche in %



* Erhebung 1983 nur bedingt vergleichbar mit den späteren Erhebungen

** Beginn einer neuen Zeitreihe

Abbildung 3.3: Die Entwicklung der Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland von 1984 bis 1992

Quelle: EK 1990a und BML 1993a

Neben dem Nadel- bzw. Blattverlust und der Vergilbung werden weitere Merkmale, wie z. B. Insekten- und Pilzbefall, erfaßt, aus denen sich Hinweise auf konkrete Ursachen für den jeweiligen Kronenzustand herleiten lassen.

Die Ergebnisse der Waldschadenserhebungen zeigen bis zur Mitte der 80er Jahre in der damaligen Bundesrepublik Deutschland einen Anstieg der geschädigten Wälder auf 54 % der gesamten Wälder. In der Folgezeit nahm der Anteil geschädigter Bäume leicht ab, stieg im Jahr 1989 jedoch wieder an (Abb. 3.3).

Die Daten für die 90er Jahre umfassen auch die Waldzustandserhebungen in den neuen Ländern und sind daher nicht mit den vorherigen Aufnahmen zu vergleichen. Im Jahr 1990 konnte aufgrund erheblicher Sturmschäden in den südlichen Bundesländern keine Erhebung erfolgen. Im Jahr 1991 waren 25 Prozent der Waldfläche deutlich geschädigt (Schadstu-

fen 2 bis 4), darüber hinaus traten auf 39 % der Flächen leichte Schäden auf. Ein Jahr später hatte sich der Anteil der deutlich geschädigten Wälder auf 27 %, der der schwach geschädigten auf 41 Prozent erhöht, so daß nur noch etwa ein Drittel der Waldflächen als nicht sichtbar geschädigt eingestuft werden konnte. In der jüngsten Erhebung wurden 24 % der Wälder als deutlich geschädigt und 40 % als schwach geschädigt eingestuft (BML 1993a).

Das Ausmaß und die Entwicklung der Waldschäden ist regional verschieden, wie die Tabelle 3.5 zeigt. In den alten Bundesländern sind vor allem Hessen, Bayern und Baden-Württemberg betroffen, während die nordwestlichen Länder mit einem Anteil deutlich geschädigter Bäume von 13 bis 16 % ein geringeres Schadmaß aufweisen. In den neuen Ländern sind mit Ausnahme von Brandenburg durchweg mehr als 20 % der Bäume deutlich geschädigt, in Thüringen sogar 50 %.

Tabelle 3.5

Die Entwicklung der Waldschäden in den Bundesländern in den Jahren 1991 bis 1993

Bundesland	Waldfläche	Schadstufe 1 bis 4			Schadstufe 2 bis 4		
		1991	1992	1993	1991	1992	1993
	Anteil in %						
Bremen	0,01	52	41	41	13	10	13
Hamburg	0,03	74	52	45	17	17	14
Niedersachsen	9	44	52	51	10	13	16
Nordrhein-Westfalen	8	42	50	50	11	16	16
Schleswig-Holstein	1	47	40	43	15	13	16
Nordwestdeutsche Länder ¹⁾	18	43	50	50	11	14	16
Berlin	0,2	77	65	69	29	14	25
Brandenburg	10	71	70	56	33	25	17
Mecklenburg-Vorpommern	4	81	89	87	49	43	30
Sachsen	5	63	61	59	27	21	24
Sachsen-Anhalt	5	72	69	71	34	32	33
Thüringen	5	81	84	83	50	54	50
Ostdeutsche Länder ²⁾	29	73	75	69	38	34	29
Baden-Württemberg	13	61	74	77	17	24	31
Bayern	23	73	77	64	30	32	22
Hessen	8	71	69	71	29	33	35
Rheinland-Pfalz	8	53	54	54	12	13	14
Saarland	1	44	45	49	17	18	21
Süddeutsche Länder ³⁾	53	66	71	67	24	27	25
Deutschland ⁴⁾	100	64	68		25	27	24

¹⁾ Gesamtfläche der nordwestdeutschen Länder: 9,8 Mio. ha, Waldfläche: 2,0 Mio. ha

²⁾ Gesamtfläche der ostdeutschen Länder: 10,9 Mio. ha, Waldfläche: 3,0 Mio. ha

³⁾ Gesamtfläche der süddeutschen Länder: 15,0 Mio. ha, Waldfläche: 5,4 Mio. ha

⁴⁾ Gesamtfläche der Bundesrepublik Deutschland: 35,7 Mio. ha, Waldfläche 10,4 Mio. ha

Quelle: BML 1993a

Tabelle 3.6

Waldschäden nach Baumarten und Schadstufe 1993

Baumart	Baumfläche (in Mio. ha.)	Schadstufe 1 bis 4	Schadstufe 2 bis 4
		in % der Fläche	
Fichte	3,5	58	22
Kiefer	2,9	64	20
sonstige Nadelbäume ¹⁾ ..	0,6	55	23
Nadelbäume gesamt	7,1	60	21
Buche	1,5	78	32
Eiche	0,9	81	45
sonstige Laubbäume ²⁾ ...	1,2	53	16
Laubbäume gesamt	3,7	71	30
alle Baumarten ..	10,8	64	24

¹⁾ z. B. Douglasie, Lärche und Tanne

²⁾ z. B. Ahorn, Linde, Roteiche, Pappel

Quelle: BML 1993a

Seit 1990 ist in Ostdeutschland der Anteil deutlich geschädigter Bäume von 38 auf 29 % gesunken. Ansonsten hat sich das Schadmaß insgesamt auf hohem Niveau stabilisiert.

Entwicklung und Ausmaß der Waldschäden zeigen deutliche baumartenspezifischen Differenzierungen. So waren zu Beginn der 80er Jahre vornehmlich die Nadelbäume betroffen. Diese zeigten gegen Ende des letzten Jahrzehnts eine deutliche Stagnation, seit 1991 ist jedoch wieder ein Anstieg festzustellen. Bei den Laubbäumen traten Schäden in größerem Maße erst vor einigen Jahren auf. Insbesondere in der jüngsten Zeit stieg der Anteil der geschädigten Laubbäume jedoch rapide an und erreichte bei der Erhebung im Jahr 1992 mit 75 % den bisher größten Wert. Im Jahr 1993 ging der Anteil auf 71 % zurück (Tab. 3.6).

In Deutschland wurden im Jahr 1993 21 % der Nadelbäume den Schadstufen 2 bis 4 zugeordnet, weitere 39 % zeigten leichte Schäden. Der Anteil nicht geschädigter Nadelbäume erhöhte sich im Vergleich zum Vorjahr um 5 % auf 40 %. Zwischen 1985 und 1989 hatte sich eine Erholungstendenz abgezeichnet, die sich jedoch in den 90er Jahren nicht fortsetzte. Zwar liegt der Anteil deutlich geschädigter Fichten und Kiefern in den nordwestdeutschen Ländern mit etwa 16 % bzw. 4 % auf relativ niedrigem Niveau. In Süddeutschland stieg dagegen der Anteil deutlich geschädigter Kiefern zwischen 1989 und 1993 um 8 % auf 22 %, der der Fichte um 7 % auf 21 %.

Der Anteil erkrankter Laubbäume stieg zwischen 1991 und 1992 von 67 % auf 75 % und sank 1993 auf 71 %. Etwa ein Drittel aller Laubbäume zeigten deutliche, 40 % wiesen schwache Schäden auf. Der Anteil nicht sichtbar geschädigter Bäume beträgt bei den Buchen nur 22 %, bei den Eichen sogar nur 19 %. Der Anteil deutlich geschädigter Laubbäume hat sich dagegen erhöht. 32 % der Buchen und 45 % der Eichen zeigen deutliche Schadsymptome.

3.5.1.2 Europa

Auf europäischer Ebene werden seit 1986 nach einem einheitlichen Verfahren Waldschadenserhebungen durchgeführt und von der UN/ECE in einem Bericht zusammengestellt. Grundlage sind die nationalen Erhebungen, die nach einem einheitlichen Stichprobenverfahren in einer Netzdichte von mindestens 16 x 16 km durchgeführt werden. Inzwischen beteiligen sich 33 europäische Staaten an dieser Erhebung. Etwa 78 % der Waldfläche Europas wurden bislang einbezogen.

Zudem finden innerhalb der Mitgliedstaaten der Europäischen Gemeinschaften jährlich eine grenzüberschreitende Auswertung der Waldschadenserhebungen statt, die von der EG-Kommission in einem Waldzustandsbericht zusammengefaßt werden. Das Stichprobennetz wird anhand eines 16 x 16 km-Rasters ausgewiesen. Das Aufnahmeverfahren entspricht dem in Deutschland angewandten. Im Jahr 1992 wurde erstmals ein gemeinsamer Bericht der UN-ECE und der EG herausgegeben (UN-ECE/CEE 1992). Einen Überblick über die darin wiedergegebenen Ergebnisse der letzten Erhebung aus dem Jahr 1991 gibt die folgende Tabelle (Tab. 3.7).

Tabelle 3.7

Ergebnisse der UN-ECE-Waldschadenserhebung 1991

Land	Anteil der Schadstufen (in %)			Veränderung der Schadstufen 2 bis 4 zu 1991 (in %)
	0	1	2 bis 4	
Nordeuropa				
Estland	40,8	30,7	28,5	·
Finnland	65,0	20,5	14,5	-1,5
Lettland	30,0	33,0	37,0	·
Litauen	16,3	66,2	17,5	-6,4
Norwegen	40,3	33,5	26,2	+6,5
Schweden	51,0	28,5	16,5	+4,5
Zentraleuropa				
Deutschland	32,0	41,6	26,0	+0,8
Kroatien	56,9	27,5	15,6	·
Liechtenstein	52,0	32,0	16,0	-3,0
Österreich	56,4	36,7	6,9	-0,6
Schweiz	37,8	46,5	16,0	-3,0
Slowakei	23,0	41,0	36,0	·
Slowenien	·	·	·	·
Restjugoslawien	·	·	·	·
Tschechien	8,7	34,8	56,4	·
Südeuropa				
Griechenland	42,8	39,1	18,1	+1,2
Italien	57,0	24,8	18,2	+1,8
Portugal	54,4	23,1	22,5	-7,1
Spanien	50,6	37,1	12,3	+5,0
Türkei	·	·	·	·
Westeuropa				
Belgien	36,7	46,4	16,9	-1,0
Dänemark	44,1	30,0	25,9	-4,0
Frankreich	75,1	16,9	8,0	+0,9
Großbritannien	5,0	36,7	58,3	+1,6
Irland ¹⁾	49,2	35,1	15,7	+0,7
Luxemburg	48,7	30,9	20,4	-0,4
Niederlande	63,0	12,5	24,5	+7,3
Osteuropa				
Bulgarien	42,8	34,1	23,1	+1,3
Polen	8,0	43,2	48,8	+3,8
Rumänien	48,9	34,4	16,7	+7,0
Russische Föderation ^{1) 2)}	55,9	38,7	5,4	+1,0
Ukraine	40,8	42,9	16,3	·
Ungarn	42,4	36,1	21,5	+1,9
Weißrußland	26,4	44,4	19,2	·

*) = neueste verfügbare Daten

1) = nur für Nadelbäume erhoben

2) = Erhebung nur in Teilregionen

· = keine Angaben verfügbar

Quelle: UN-ECE/CEE 1992

Tabelle 3.8

**Die Emission von SO₂, NO_x und NH₃ in Deutschland
(in 1000 t)**

	Gesamt	Alte Bundesländer	Neue Bundesländer
Schwefeldioxid (SO₂)¹⁾			
Gesamtemission	5 690	940	4 750
Kraft- und Fernheizwerke	4 070	320	3 750
Industrie	900	410	490
Haushalte und Kleinverbraucher	590	130	460
Verkehr	130	80	50
Emissionsdichte in kg S/ha·Jahr	80	19	219
Stickstoffoxide (NO_x)¹⁾			
Gesamtemission	3 230	2 600	630
Kraft- und Fernheizwerke	610	340	270
Industrie	320	250	70
Haushalte und Kleinverbraucher	120	110	10
Verkehr	2 170	1 900	270
Emissionsdichte in kg N/ha·Jahr	28	32	18
Ammoniak (NH₃)			
Gesamtemission ²⁾	660	530	130
Tierhaltung	570	460	110
Mineraldüngung	65	50	14
Sonstige	27	20	7
Emissionsdichte in kg N/ha·Jahr	15	18	10

1) Alle Emissionswerte für SO₂ und NO_x beziehen sich auf das Jahr 1990 (nach BMU 1992)

2) Nach UBA 1993; diese Daten beziehen sich auf das Jahr 1991; ihnen liegt eine Emission von 37 kg NH₃/Jahr/Großvieheinheit zugrunde

hervorgerufen. Darüber hinaus spielt das photochemisch gebildete bodennahe Ozon eine Rolle (vgl. Abschnitt A, Kap. 2). In der Tabelle 3.8 sind die Emissionsdaten für SO₂, NO_x und NH₃ wiedergegeben. Abbildung 3.4 verdeutlicht die Entwicklung der Emissionen in den alten und neuen Bundesländern innerhalb der letzten Jahrzehnte.

Schwefeldioxid entsteht überwiegend bei der Verbrennung fossiler Energieträger. Es hat in etwa eine Verweilzeit von ein bis drei Tagen in der Atmosphäre und wird zu Schwefelsäure (H₂SO₄) umgewandelt, die etwa 10 Tage in der Atmosphäre verweilen und über weite Strecken transportiert werden kann.

In den alten Bundesländern sind die Emissionsmengen seit Mitte der 70er Jahre von knapp 4 Mio. t/Jahr auf 0,9 Mio. t im Jahr 1990 zurückgegangen. Dies ist

Die höchsten Anteile deutlich geschädigter Wälder (Schadstufe 2 bis 4) treten in Großbritannien (ca. 58 %), Tschechien (ca. 56 %) und Polen (ca. 50 %) auf. Relativ geringe Schäden treten mit 7 bzw. 8 % in Österreich und Frankreich auf. Das geringste Schadmaß wies mit rund 6 % die Russische Föderation auf, für die allerdings nur teilweise Erhebungsdaten vorliegen. In den Staaten der Europäischen Gemeinschaften zeigten insgesamt 43 % der Bäume keine sichtbaren Schäden (Schadstufe 0). In diese Schadstufe fielen 41 % der Nadel- und 47 % der Laubbäume. Etwa 34 % der Bäume zeigten leichte Schäden (35 Prozent Nadel-, 31 % Laubbäume) und 24 % waren deutlich geschädigt (24 % Nadel-, 22 Prozent Laubbäume). Die wichtigsten Baumarten zeigen seit Ende der 80er Jahre eine Ausweitung der Schäden. Bei den Fichten und Kiefern nahm der Anteil deutlich geschädigter Bäume zwischen 1988 und 1992 jeweils um etwa 8 % auf rund 25 bzw. 21 % zu. Bei den Buchen und Stieleichen stieg der Anteil um jeweils 8 % auf 23 bzw. 35 %, bei den Traubeneichen um 4 auf 17 %.

3.5.2 Ursachen der Waldschäden

Seit Beginn der 80er Jahre wurden in der Wissenschaft eine Reihe von Hypothesen zur Erklärung der Waldschäden aufgestellt. In der Regel handelte es sich dabei um monokausale Ansätze, die zum Teil inzwischen widerlegt wurden. Die jüngere Waldschadensforschung verdeutlicht dagegen eindringlich, daß das Auftreten sichtbarer und nicht sichtbarer Schäden in den Waldökosystemen auf eine Vielzahl miteinander verknüpfter Ursachenkomplexe zurückzuführen ist, die zeitlich und räumlich erheblich voneinander abweichen. Im einzelnen sind, dem heutigen Wissensstand entsprechend, die folgenden Einflußfaktoren am Auftreten großflächiger Waldschäden beteiligt:

- die direkte Wirkung von Luftschadstoffen auf die oberirdischen Pflanzenteile,
- die langfristige Zufuhr und Anreicherung von Schad- und Nährstoffen in den Böden,
- der Witterungsverlauf, insbesondere das Auftreten von klimatischen Extremsituationen wie lang anhaltenden Trockenzeiten, Früh- und Spätfrösten, Temperaturstürzen etc. sowie
- das Auftreten von Schädlingen.

Es ist vor allem das komplexe Zusammenwirken dieser Einflußfaktoren, das zur Entstehung von großflächigen Waldschäden führt. Jeder der genannten Faktoren kann dabei eine Erkrankung sowohl auslösen als auch verstärken. Die Schlüsselposition innerhalb dieses Wirkungsgeflechtes nimmt jedoch der Eintrag von Stoffen in die Waldökosysteme ein. Er soll daher im Zentrum der folgenden Ausführungen stehen.

3.5.3 Die Rolle des Eintrags von Luftverunreinigungen in die Wälder

Vor allem der seit langem stattfindende Eintrag von Schwefeldioxid (SO₂), Stickoxiden (NO_x) und Ammoniak (NH₃) in die Wälder hat großflächige Schäden

im wesentlichen auf den Einbau von Entschwefelungsanlagen in den Kraftwerken zurückzuführen. In den neuen Bundesländern wurden im Jahr 1990 dagegen immer noch über 4 Mio. t SO_2 /Jahr emittiert. Der überwiegende Teil davon entstammt den Kraft- und Fernheizwerken. Für die kommenden Jahre ist jedoch mit einer Angleichung der Emissionswerte an das westdeutsche Niveau zu rechnen.

Die NO_x -Emissionen entstammen überwiegend dem Verkehr. Der Anteil anderer Emittenten hat sich in den alten Bundesländern innerhalb der letzten Jahre deutlich vermindert (Abb. 3.4). Dieser Rückgang wurde jedoch zum Teil durch den Anstieg im Verkehrsbereich kompensiert, so daß im Jahr 1990 immer noch 2,6 Mio. t NO_x freigesetzt wurden. Zwischen 1980 und 1990 stieg der NO_x -Ausstoß im Verkehrsbereich in den alten Bundesländern von 1,4 auf 1,9 Mio. t (BMV 1992). In den neuen Bundesländern liegt die NO_x -Emission seit Mitte der 70er Jahre in etwa konstant bei 0,7 Mio. t/Jahr. Sie wird aufgrund des rasch zunehmenden Verkehrsaufkommens in absehbarer Zeit deutlich anwachsen. Stickoxide werden überwiegend als Stickstoffmonoxid (NO) freigesetzt und innerhalb von Stunden in Stickstoffdioxid (NO_2) umgewandelt, das bis zu 20 Tage in der Atmosphäre verweilen kann.

Der Anstieg der Stickoxidemissionen ist maßgeblich für die Zunahme der troposphärischen Ozonkonzentrationen verantwortlich (vgl. Abschnitt A, Kap. 2.4). Bodennahes Ozon entsteht bei genügend hoher NO_x -

Konzentration über die photochemische Oxidation von Kohlenwasserstoffen, die ebenfalls zu einem beträchtlichen Teil dem Verkehrsbereich entstammen. Je höher der NO_x -Anteil in der Luft ist, desto höher ist die Ozonbildungsrate. Das Reizgas Ozon wirkt äußerst phytotoxisch und bewirkt Schäden an den oberirdischen Pflanzenteilen (s. 3.5.3.1).

Die Emissionsdaten für Ammoniak sind mit erheblichen Unsicherheiten belastet. Mit ihrer Erfassung wurde erst in jüngster Vergangenheit begonnen. Dabei treten erhebliche Meßschwierigkeiten auf. Etwa 80 bis 85 % der NH_3 -Emission wird durch die Tierhaltung freigesetzt, weitere rund 10 % durch die Anwendung von Düngemitteln. Nichtlandwirtschaftliche Quellen sind für etwa 5 % der Emission verantwortlich (Isermann 1994, UBA 1993). Die Gesamtemission im heutigen Bundesgebiet lag seit 1970 relativ konstant zwischen 0,74 und 0,85 Mio. t NH_3 /Jahr und sank zwischen 1990 und 1991, vornehmlich aufgrund des rapiden Rückgangs des Tierbestandes in der ehemaligen DDR, auf 0,66 Mio. t ab. Diesen Werten liegt eine NH_3 -Emission pro Großvieheinheit von 37 kg/Jahr zugrunde. Andere Schätzungen gehen von 30 kg NH_3 /Jahr (Mitteilung des BML) bzw., unter Einbeziehung der Emission aus dem Futtermittelanbau, 44 kg NH_3 /Jahr (Isermann 1994) aus. NH_3 wird in der Luft zu Ammonium (NH_4^+) umgewandelt und in dieser Form meist durch Reaktion mit H_2SO_4 zu Ammoniumsulfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) und überwiegend mit dem Niederschlag deponiert.

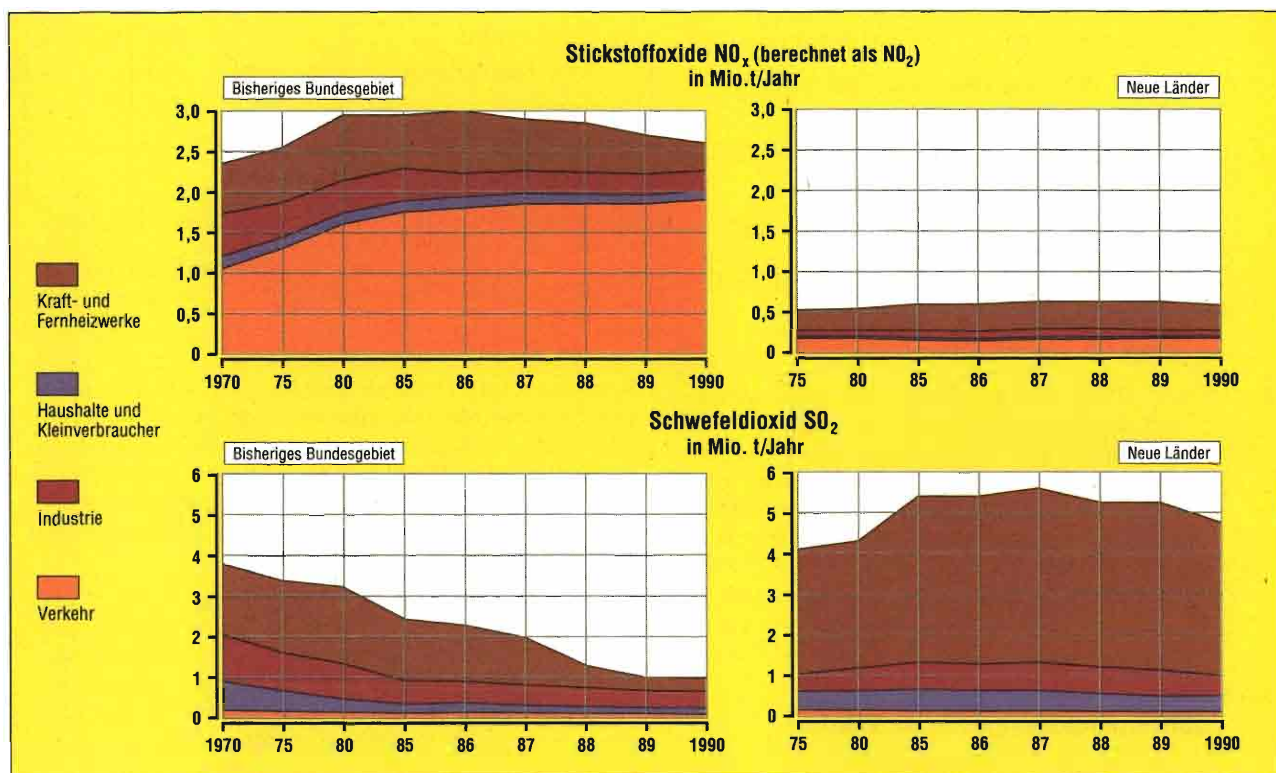


Abbildung 3.4(a): Die Entwicklung der Emissionen von SO_2 und NO_x in der Bundesrepublik Deutschland und der ehemaligen DDR
Quelle: BMU 1992

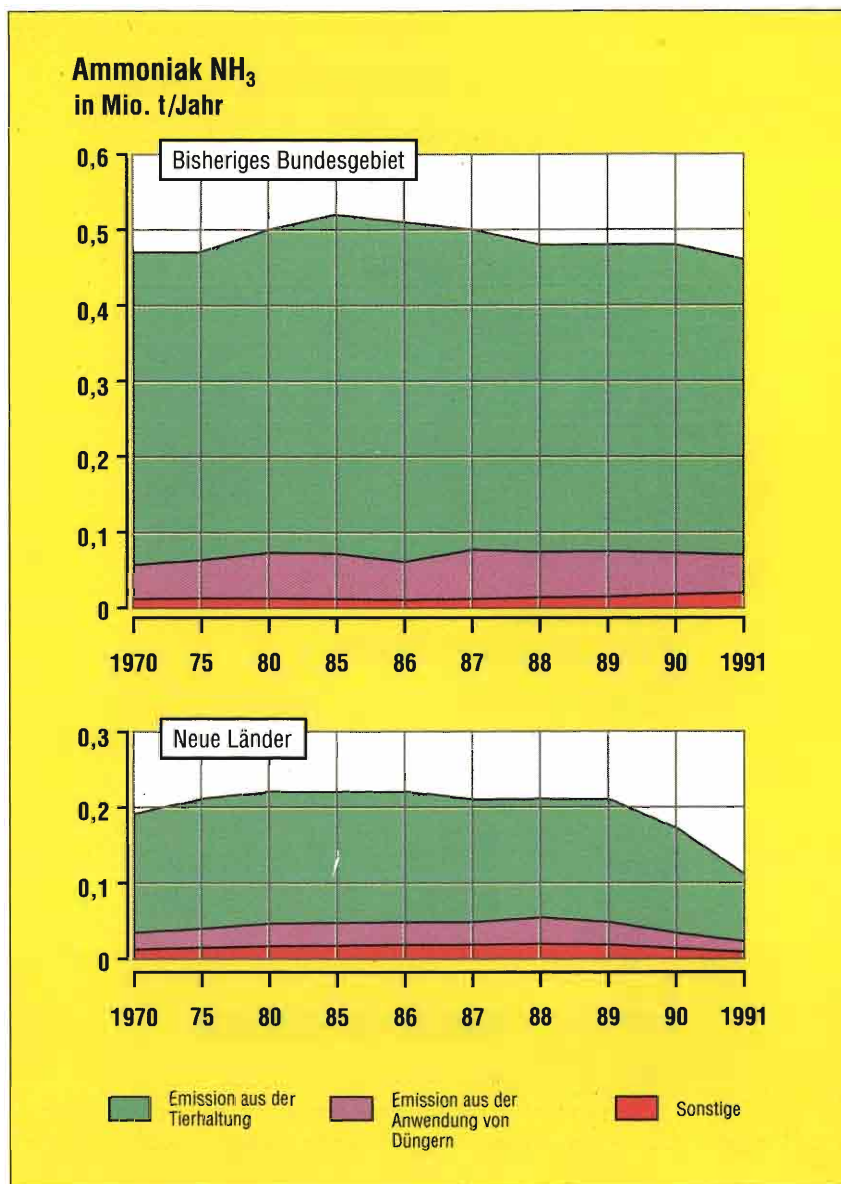


Abbildung 3.4(b): Die Entwicklung der NH_3 -Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland und der ehemaligen DDR
Quelle: UBA 1993

Die größten Emittenten von SO_2 in Europa sind, neben der Bundesrepublik Deutschland, die europäischen Länder der ehemaligen Sowjetunion, Polen und Großbritannien. Bezogen auf die Landesfläche weisen Belgien, die ehemalige Tschechoslowakei und die neuen Länder der Bundesrepublik die höchsten Emissionen auf; bei den Stickstoffoxiden sind es Belgien, die alten Länder der Bundesrepublik und die Niederlande. Das höchste absolute NO_x -Emissionsniveau weisen die Länder im europäischen Teil der ehemaligen Sowjetunion, Großbritannien und die Bundesrepublik Deutschland auf. Beim Ammoniak gehört, neben diesen Staaten, auch Polen zu den Hauptemittenten. Pro Flächeneinheit weisen Belgien, Dänemark und die Niederlande die höchsten Emissionsraten auf.

Seit 1980 sind die SO_2 -Emissionen im europäischen Mittel um etwa 25 % zurückgegangen. Dabei wurden die höchsten jährlichen Rückgänge zwischen 1980 und 1985 erzielt, während die Emissionen seitdem nur noch langsam abnahmen (UBA 1989, Sandnes und Styve 1992). Die Stickoxidemissionen erhöhten sich im gleichen Zeitraum um etwa 5 %, während die Ammoniakemissionen nahezu unverändert blieben (Sandnes und Styve 1992).

Nur ein Teil der Emissionen geht in der weiteren Umgebung der Quelle wieder zu Boden; bei SO_2 etwa 30 bis 50 %, bei Ammoniak etwa 20 bis 40 %. Bei Stickoxiden liegt dieser als Lokaldeposition bezeichnete Anteil nur bei wenigen %. Der größte Teil der Emission wird also in der Luft, zum Teil über Länder-

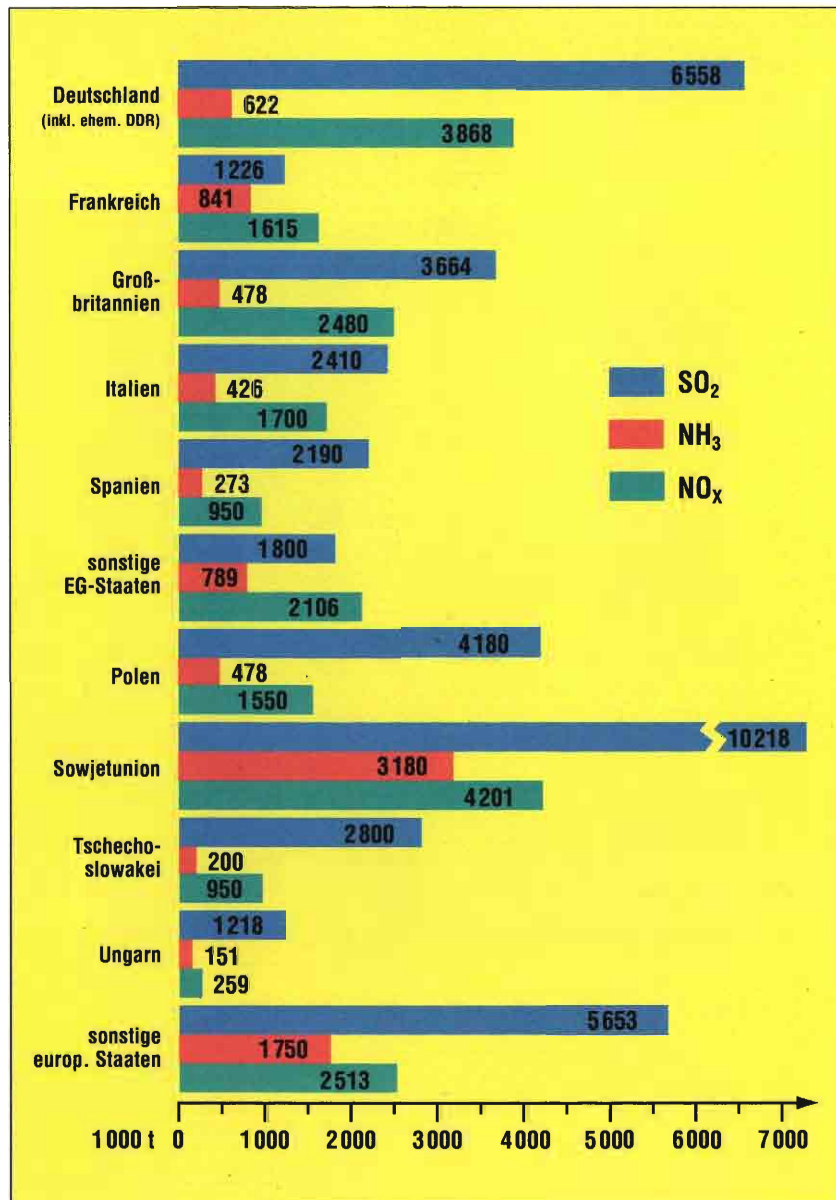


Abbildung 3.5: Die Emission von SO₂, NO_x und NH₃ in den Ländern Europas
Quelle: Krüger und Graßl 1993

grenzen hinweg, weitertransportiert und chemisch umgewandelt, bevor er über Niederschläge deponiert wird.

Am Beispiel der Bundesrepublik Deutschland läßt sich in etwa zeigen, welchen Umfang die Schadstoffimporte und -exporte ausmachen (Abb. 3.6). Die hohe Gesamtemission auf relativ kleiner Fläche machen die Bundesrepublik Deutschland zu einem bedeutenden „Nettoexporteur“ von Schwefel- und Stickstoffoxiden. Während größere Importe im wesentlichen aus den westlich benachbarten Staaten sowie der ehemaligen Tschechoslowakei kommen, werden die bundesdeutschen Emissionen aufgrund der vorwiegend westlichen Windrichtungen vor allem nach Mittel- und Osteuropa transportiert. Bei den oxidierten

Schwefelverbindungen ergab sich in der Bundesrepublik im Jahr 1990 insgesamt ein Exportüberschuß von über 800 Mio. t pro Jahr, bei Stickstoffverbindungen von knapp 300 Mio. t pro Jahr (Abb. 3.6).

Eine Untersuchung von Krüger und Graßl (1993) deutet darauf hin, daß die Lokaldeposition bei den bisherigen Berechnungen möglicherweise überschätzt wurde. Unter Einbeziehung der tageszeitlichen und jahreszeitlichen Schwankungen der Depositionsbedingungen (Klima, Oberflächenzustand etc) zeigte sich, daß Schwefelemissionen unterhalb einer Emissionshöhe von 100 m nur zu 11 % in der weiteren Umgebung deponiert werden. Aus hohen Schornsteinen (über 100 m Höhe) sind es sogar nur 4 %. Entsprechend erhöht sich der Anteil der über die

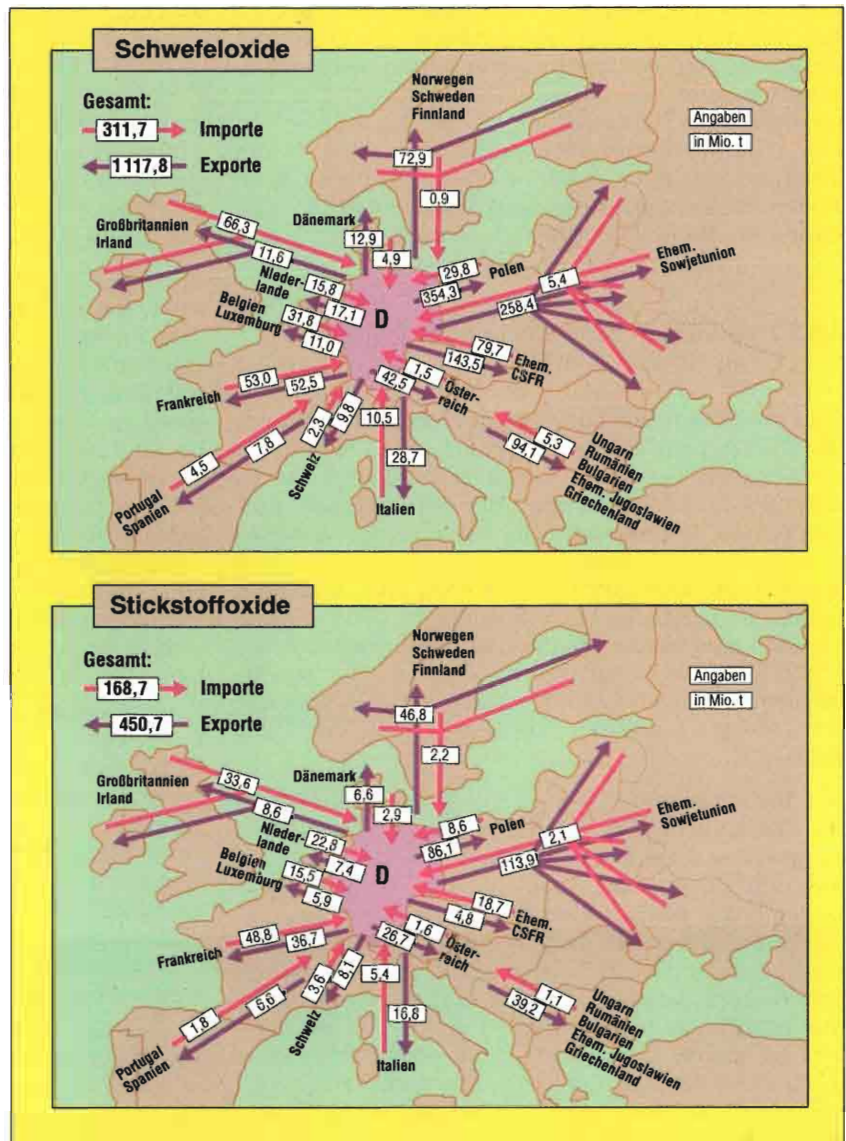


Abbildung 3.6: Atmosphärische Stofftransporte für das Jahr 1990 am Beispiel der Bundesrepublik Deutschland
Quelle: UBA 1991

Ländergrenzen hinweg transportieren Schadstoffanteils. Bei den Stickstoffverbindungen fielen die Differenzen jedoch weit geringer aus (Krüger und Graßl 1993).

3.5.3.1 Direkte Wirkung von Schadgasen auf die oberirdischen Pflanzenteile

Die Einwirkung der Schadgase auf die Wälder erfolgt einerseits direkt über die oberirdischen Pflanzenteile. Aufgrund der großen Blatt- bzw. Nadeloberflächen filtern Wälder weit mehr Schadstoffe aus der Luft als unbewaldete Flächen. Einige dieser Schadstoffe — insbesondere SO_2 — wirken dabei in höheren Konzentrationen phytotoxisch. Die durch sie hervorgerufene Vergilbungen, vornehmlich bei Nadelbäu-

men, sind als sogenannte „Rauchschäden“ bereits seit dem letzten Jahrhundert bekannt. Sie treten im näheren Umkreis starker Emissionsquellen auf, sind jedoch zumindest in den alten Bundesländern in jüngerer Zeit nicht mehr festzustellen. In den neuen Bundesländern und in Osteuropa spielen zum Teil sehr hohe SO_2 -Konzentrationen in der Nähe von Kraftwerken und anderen Emittenten dagegen auch heute noch eine Rolle.

Direkte Pflanzenschäden sind heute vorwiegend das Ergebnis erhöhter bodennaher Ozonkonzentrationen. Als sehr phytotoxisches Gas schädigt es die Zellmembranen und beeinträchtigt dadurch die Photosynthese der Pflanzen. Darüber hinaus ruft Ozon latente Schwächungen hervor. So senkt es die Widerstandsfähigkeit der Bäume gegenüber Frösten, Trockenheit und anderen Streßfaktoren (BMFT 1993).

Ozon und aus NO_x und SO_2 entstehende Säuren beschädigen darüber hinaus bei längerem Einwirken die schützende Wachsschicht der Blätter und Nadeln. Dadurch wird die Nährstoffauswaschung aus den oberirdischen Pflanzenteilen („Leaching“) gefördert. Die Wirkung dieses Nährstoffverlusts wird häufig durch ein verringertes Nährstoffangebot (Mg, Ca) im Boden verstärkt, das seinerseits durch den Schadstoffeintrag in die Böden verursacht wird (s. u.).

3.5.3.2 Wirkungen langfristiger Stoffzufuhr und -anreicherung im Boden

Schadstoffe aus der Luft wirken nicht nur direkt auf die Pflanzen ein, sie gelangen auch in die Böden, wo sie sich zum Teil nach und nach anreichern und zu erheblichen Veränderungen der Standortbedingungen führen. Eine wesentliche Folge ist die Versauerung der Böden. Schwefelsäure, Salpetersäure und Ammoniumsulfat, die sich aus SO_2 , NO_x und NH_3 bilden, tragen maßgeblich dazu bei. In Abhängigkeit von den natürlichen Standortbedingungen ist inzwischen in allen europäischen Ländern eine zunehmende Bodenversauerung nachgewiesen worden. Die Folgen dieses Prozesses sind vielfältig (Abb. 3.7).

Mit fortschreitender Versauerung eines Standortes werden zunächst Kalzium, Magnesium und Kalium, in fortgeschrittenem Stadium Mangan und Aluminium aus den Bodenpartikeln gelöst und gehen in die Bodenlösung über. Dadurch unterliegen sie der Auswaschung und gehen dem Ökosystem über kurz oder lang verloren. Die Abfuhr von Kalzium, Magnesium und Kalium verschlechtert die Nährstoffversorgung und bewirkt, zum Teil verstärkt durch die Nährstoffverluste durch „Leaching“ (s. o.), eine Unterversorgung der Pflanzen. Ein bekanntes sichtbares Symptom für diese Wirkung ist zum Beispiel die Nadelvergilbung in den Höhenlagen der Mittelgebirge, die auf einen akuten Magnesiummangel zurückzuführen ist. Dagegen macht sich Kalziummangel hauptsächlich in den Wurzeln bemerkbar.

Derartige Schäden werden sich in Zukunft weiter ausweiten, darauf deuten die Ergebnisse der kürzlich in einigen Bundesländern durchgeführten Bodenzustandserhebung hin. Diese gibt Aufschluß über den Stand der Nährstoffverluste in den Waldböden. In lehmigen Böden hoher Basensättigung sind die Mg- und Ca-Vorräte normalerweise mehr als 10 mal so groß wie in der Pflanzendecke. Dem Aufbau neuer Bestandesbiomasse nach der Verjüngung sind von daher keine Grenzen gesetzt. Dieser Zustand ist heute nur noch in etwa 15 % der Waldböden in der Bundesrepublik Deutschland gegeben. Dagegen sind in 40 % der Waldböden weniger als das Doppelte der im Bestand gespeicherten Mg- und in 55 % weniger als das Doppelte der im Bestand gespeicherten Ca-Vorräte enthalten. Ohne die (künstliche) Zufuhr dieser Nährstoffe ist daher der Nährstoffbedarf der kommenden Baumgeneration nicht mehr durch den Boden abgedeckt (Ulrich und Puhe 1994).

Ein erhebliches Problem stellt auch das in versauerten Böden freigesetzte Aluminium dar. Es beeinträchtigt

die Pflanzen in zweifacher Weise. Zum einen vermindert es die Aufnahme anderer positiv geladener Ionen (z. B. Ca, Mg) durch die Wurzeln und verstärkt damit die Unterversorgung mit Nährstoffen. Zum anderen wirkt Aluminium toxisch auf Pflanzen und Bodenorganismen und behindert das Wurzelwachstum. Es unterliegt darüber hinaus der Auswaschung und gefährdet als toxische Substanz in erheblichem Maße das Grund- und Quellwasser.

Je stärker die Bodenversauerung fortgeschritten ist, um so geringer ist der Besatz mit Bodenorganismen. Dies hat weitreichende Konsequenzen für die natürliche Bodenfruchtbarkeit und den Nährstoffkreislauf. Auf jedem Quadratmeter natürlichen Waldbodens leben zum Beispiel etwa 250 Regenwürmer, die den Boden durchwühlen und maßgeblich für eine stabile Bodenstruktur sorgen. Darüber hinaus sorgen Millionen von Zersettern für den Abbau der abgestorbenen organischen Substanz und somit für die Schließung der Nährstoffkreisläufe. Im sauren Milieu fehlen viele dieser Lebewesen ganz oder teilweise, was zu Veränderungen in der Bodenstruktur und der Nährstoffversorgung sowie zum Entstehen von Humusauf-lagen führt.

Zudem nimmt mit zunehmender Versauerung die Durchwurzelung der Böden ab. Die Baumwurzeln ziehen sich mehr und mehr aus den tieferen Bodenschichten zurück, die Ausbildung von Feinwurzeln kann beeinträchtigt sein. Dadurch verringert sich zum einen die Standfestigkeit der Bäume und damit ihre Widerstandskraft gegenüber Stürmen. Zum anderen verschlechtert sich die Nährstoffaufnahme und die Wasserversorgung. Mangelercheinungen (z. B. Nadelvergilbung) und trockenheitsbedingte Schäden nehmen entsprechend zu.

Lange Zeit unterschätzt wurde die Wirkung des anhaltenden Eintrags von Stickstoff in die Böden. Dies ist sicherlich unter anderem darauf zurückzuführen, daß die bis ins letzte Jahrhundert hinein anhaltende lange Mißwirtschaft einen Mangel an Stickstoff hervorgerufen hatte und der zusätzliche N-Eintrag über die Luft als willkommene Düngung angesehen wurde. Tatsächlich ist davon auszugehen, daß der in vielen Wäldern festgestellte Anstieg der Zuwachslleistung in erster Linie auf die Stickstoffeinträge zurückzuführen ist. Gleichsam verdeutlichen jüngere Forschungsergebnisse, daß der aktuelle Stickstoffeintrag bei weitem über der Verträglichkeitsgrenze der Waldökosysteme liegt. Nur etwa 20 kg N/ha/Jahr können von den Pflanzen verwertet werden (BMFT 1993). Der jährliche Eintrag liegt dagegen zwischen 20 und 80 kg N/ha/Jahr und erreicht in Extremfällen bis zu 200 kg N/ha/Jahr (Kreutzer 1993). Tabelle 3.9 zeigt beispielhafte Messungen der Stickstoffeinträge mit dem Bestandsniederschlag. Neben den absoluten Einträgen sind vor allem die jeweiligen Anteile des NH_4^+ -Stickstoffs — aus der Landwirtschaft — bzw. des NO_3 -Stickstoffs — aus Industrie und Verkehr — von Interesse. Zusätzlich zu den in der Tabelle angegebenen Werten werden bis zu 10 kg N/ha/Jahr direkt von den Bäumen im Kronenbereich aufgenommen. Je nach Standort kann dadurch ein erheblicher Teil des Stickstoffbedarfs der Bäume bereits durch die direkte Aufnahme von NO_x und NH_3 über die Blätter und Nadeln gedeckt werden.

Abbildung 3.7: Folgen des Eintrags von Säuren und Stickstoff in die Böden
 Quelle: EK 1990a, verändert

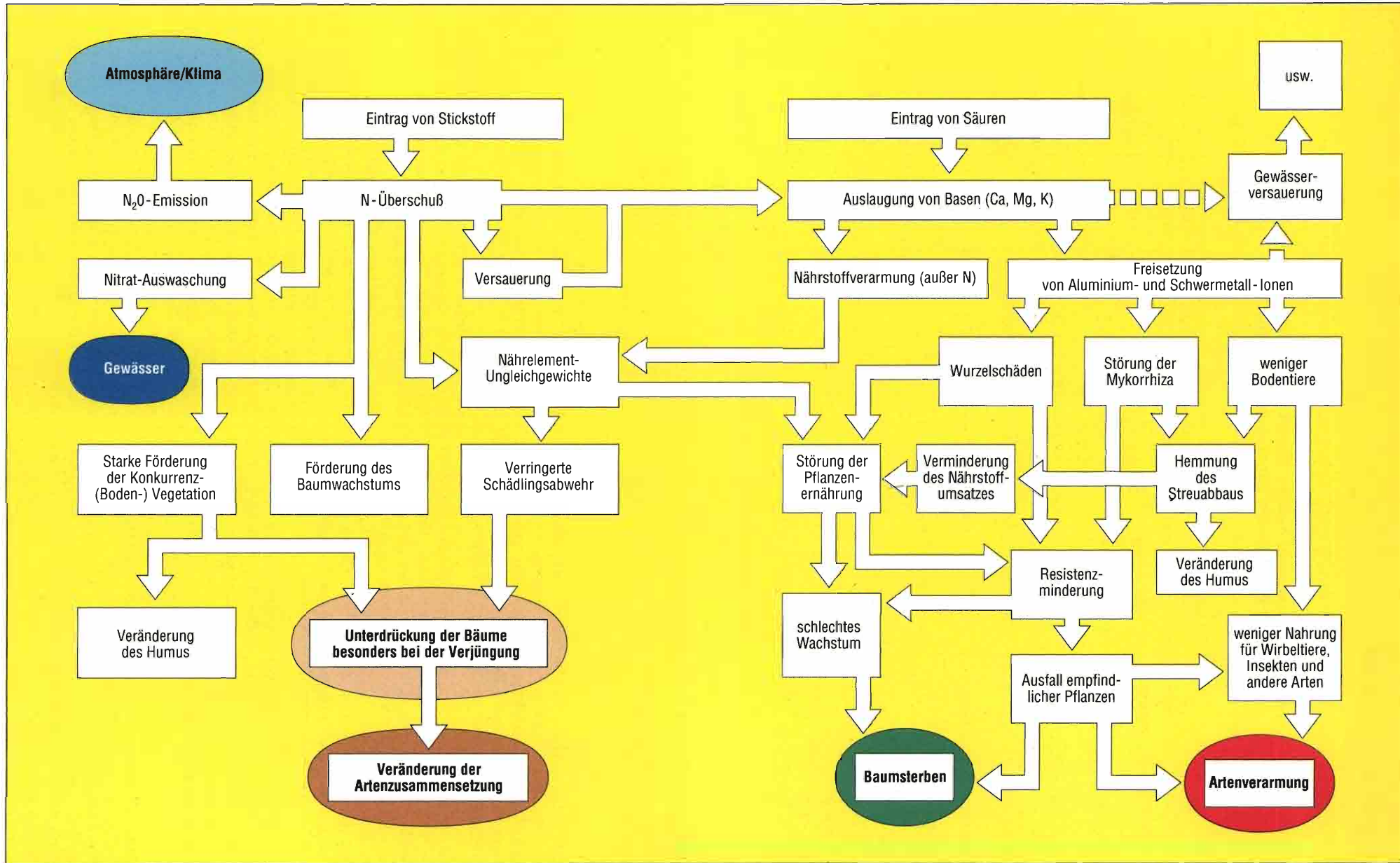


Tabelle 3.9

**Stickstoffeinträge mit dem Bestandsniederschlag in Waldökosystemen
der früheren Bundesrepublik Deutschland**

Land	Jahr	Baumart	N-Deposition (kg/ha.a) ¹⁾			Autoren
			NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	Gesamt	
Nordrhein-Westfalen ..	1987	Fichte	10,4—19,5	9,4—40,4	—	Hüser und Rehfuess (1988)
Niedersachsen	1987	Fichte	8,1—15,7	10,2—15,5	—	Hüser und Rehfuess (1988)
Rheinland-Pfalz	1987	Fichte	10,9—18,8	6,7—12,0	—	Hüser und Rehfuess (1988)
Bayern	1987	Fichte	7,2—13,4	9,0—18,3	—	Hüser und Rehfuess (1988)
Baden-Württemberg ..	1987	Fichte	5,7—23,9	2,5—13,2	—	Hüser und Rehfuess (1988)
	1988/1990	Fichte	5,4—31,8 (Ø = 15,4)	2,0—18,9 (Ø = 12,0)	(Ø = 27,4)	Hochstein und Hildebrand (1991)
	1988/1990	Laubholz	5,2—7,4 (Ø = 6,7)	5,4—18,3 (Ø = 10,0)	(Ø = 16,7)	Hochstein und Hildebrand (1991)
Hessen	1987	Fichte	8,6—20,9	5,0—17,5	—	Hüser und Rehfuess (1988)
	1983/1984 bis	Fichte	6,2—24,9 (Ø = 14,8)	4,1—18,8 (Ø = 9,5)	(Ø = 24,3)	Balázs (1991)
	1987/1988	Buche	6,1—16,6 (Ø = 9,1)	3,6—17,2 (Ø = 6,7)	(Ø = 15,8)	Balázs (1991)

¹⁾ a) zusätzliche ionogene und gasförmige (NH₃, NO_x, HNO₃) N-Aufnahme im Kronenbereich: 3—8 (10) kg/ha.a (Matzner 1989, Eilers et al. [1991]; Brumme et al. 1992)

b) zusätzliche atmosphärische N-Deposition in Form von organischem N

Quelle: Isermann 1994

Das Überangebot an Stickstoff ruft eine Vielzahl nachteiliger Effekte hervor, die eine weitere Destabilisierung der Waldökosysteme bewirken und darüber hinaus weitreichende Konsequenzen für die Grundwasserqualität und das Klima haben (Abb. 3.7).

So verursacht ein lang anhaltender hoher Stickstoffeintrag zum Beispiel Nährelement-Ungleichgewichte. Dabei sind mehrere Prozesse wirksam. Zum einen konkurriert NH₄⁺ mit anderen positiven Ionen (z. B. K, Mg, Ca) um die Wurzelaufnahme und versauert den wurzelnahen Boden. Ein Überangebot an NH₄⁺ vermindert entsprechend die Aufnahme anderer Nährelemente durch die Wurzeln.

Nährelementverluste werden darüber hinaus durch hohe Nitratgehalte (NO₃⁻) in den Böden bewirkt. Das Anion NO₃⁻, das auch bei der Nitrifikation von NH₄⁺ entsteht, ist im Boden mobil und wird, sofern es nicht durch Denitrifikation oder Pflanzenaufnahme aus der Bodenlösung verschwindet, ausgewaschen. Dabei wird jeweils eine äquivalente Menge an Kationen (Ca, Mg, K) mit verlagert und geht den Pflanzen verloren. Neben diesem Nährelementverlust ist vor allem die Nitratanreicherung im Grund- und Quellwasser äußerst problematisch. Im Sickerwasser stickstoffgesättigter Waldökosysteme können bis über 50 mg NO₃⁻/l auftreten.

Der Eintrag von NH₄⁺ in die Böden fördert die Versauerung. Bei der Aufnahme eines NH₄⁺-Ions durch die Wurzeln wird jeweils ein Wasserstoffproton (H⁺) freigesetzt, d. h. der Boden versauert. Auch bei der Nitrifikation von NH₄⁺ zu NO₃⁻ kann H⁺ freigesetzt werden. Heute macht das aus der Landwirtschaft stammende Ammonium in etwa die Hälfte des in die Böden der alten Bundesländer eingetragenen Versauerungspotentials aus (Isermann 1994).

Ein weiterer wesentlicher Effekt des erhöhten Stickstoffeintrages in die Böden ist die Freisetzung von Lachgas (N₂O), das sowohl an der anthropogenen Klimaänderung als auch beim stratosphärischen Ozonabbau beteiligt ist. N₂O entsteht biogen hauptsächlich durch die mikrobiell katalysierten Prozesse der Nitrifikation und Denitrifikation. Bei der Nitrifikation, die unter aeroben Bedingungen verläuft, wird Ammonium (NH₄) zu Nitrat (NO₃) oxidiert, das vornehmlich unter anaeroben Bedingungen durch den Prozeß der Denitrifikation zu N₂O bzw. N₂ reduziert werden kann (vgl. Abschnitt B, Kap. 2.2.2). Auf versauerten Standort entfällt häufig der letzte chemische Umwandlungsschritt, so daß N₂O als Endprodukt verstärkt anfällt und in die Atmosphäre entweicht. Es muß darüber hinaus auch mit einem erhöhten N₂O-Produktionspotential durch heterotroph nitrifizierende Mikroorganismen gerechnet werden.

Es steht demnach zu befürchten, daß der lang anhaltende Stoffeintrag in die Wälder zur Entstehung einer neuen Quelle für klimarelevante Spurengase geführt hat, die zur Zeit allerdings nur schwer quantifiziert werden kann. Ulrich und Puhe (1994) schätzen für Deutschland, daß sich die aus Wäldern entweichende N_2O -Menge innerhalb der letzten Jahrzehnte von etwa 1,6 kg N_2O /ha/Jahr auf bis zu 8 kg N_2O /ha/Jahr erhöht hat. Da die spezifische N_2O -Emission von einer Vielzahl von Faktoren (z. B. Mikrobielle Prozesse der Nitrifikation und Denitrifikation, Grad der Stickstoffsättigung, pH-Wert des Bodens, Temperatur- und Feuchteverhältnisse etc.) abhängt, ist eine zuverlässige Abschätzung der Gesamtemission von N_2O aus Waldböden zur Zeit nur schwer möglich. Eine grobe Abschätzung auf der Basis des Anteils an stark versauerten Waldböden an der Gesamtwaldfläche soll dennoch gegeben werden, um die potentielle Größenordnung veranschaulichen zu können: In der Bundesrepublik Deutschland dürfte etwa ein Viertel der Waldböden stark versauert sein (vgl. Ulrich 1993). Bei einer Gesamtwaldfläche von knapp 11 Mio. ha entspräche dies rund 2,7 Mio. ha. Bei einer Freisetzung von 8 kg N_2O pro Jahr und Hektar dürften hier über 20 000 t N_2O entweichen. Diese Menge entspricht etwa einem Zehntel der gesamten N_2O -Emission in der Bundesrepublik Deutschland.

Neben diesen bodengebundenen Prozessen lösen die Stickstoffeinträge physiologische Reaktionen der Bäume aus. So erhöht sich zum Beispiel die Frostempfindlichkeit, der Mykorrhiza-Besatz geht zurück und das Verhältnis von Sproß- zu Wurzelbiomasse verengt sich. Letzteres kann sich nachteilig auf die Wasserversorgung auswirken.

Der Stickstoffüberschuß und die Einträge aus der Luft verändern zudem die Qualität des anfallenden Humus. In ihm reichert sich mit der Zeit eine erhebliche Stickstoffmenge an, die durch einen plötzlichen Wechsel der Mineralisations- und Nitrifikationsbedingungen, z. B. nach Sturmwurf, rasch abgebaut wird, ohne daß die Pflanzendecke den N-Überschuß nutzen könnte. Erhöhte Auswaschung von Nitrat ins Grundwasser ist eine der Folgen.

Außerdem bewirkt der Stickstoffeintrag eine Verschiebung des Artenspektrums hin zu stickstoffliebenden Pflanzen. In Extremfällen entwickeln sich dichte Bodendecken aus Gräsern, Brombeere, Kräutern oder Brennessel. Aufgrund ihres dichten Wurzelwerks sind die Bodendecker bei der Wasseraufnahme gegenüber den nachwachsenden Bäumen bevorteilt und können vornehmlich in trockeneren Gebieten eine Auflichtung des Waldbestandes verursachen (Hofmann u. a. 1990). Dies wiederum verringert die Verdunstung und wirkt sich auf den gesamten Wasserhaushalt eines Gebietes aus. Von Natur aus nährstoffarme Standorte werden durch die Stickstoffeinträge stark verändert, was eine weitgehenden Verdrängung der ursprünglichen Pflanzengesellschaften zur Folge haben und sich massiv auf die biologische Vielfalt auswirken kann.

3.5.4 Fazit

Großflächig auftretende Waldschäden in Europa sind das Resultat komplexer Kombinationswirkungen zwi-

schen direkt pflanzenschädlicher Luftverschmutzung und dem lang anhaltenden Stoffeintrag in die Wälder auf der einen Seite sowie klimatischen und biologischen Störfaktoren auf der anderen. Die Wirkung von Säuren- und Stickstoffeinträgen nimmt in diesem Ursachenkomplex eine Schlüsselstellung ein. Dabei spielt die direkte Schädigung der Pflanzen durch hohe SO_2 -Konzentrationen praktisch nur noch im östlichen Europa und der ehemaligen DDR eine Rolle. In den westeuropäischen Ländern sind vor allem die Nährstoffverluste infolge von Bodenversauerung für die Destabilisierung der Waldökosysteme verantwortlich. Besonders hervorzuheben sind die vielfältigen Beeinträchtigungen der Wälder durch die starke Immission von Stickstoffverbindungen, die vor allem dem Verkehrsbereich und der Landwirtschaft entstammen. Dabei ist zu bedenken, daß das vornehmlich im Verkehr freigesetzte NO_x neben den direkten Einwirkungen auf die Waldökosysteme entscheidend für die Entstehung hoher Ozonkonzentrationen verantwortlich ist, die ihrerseits die Pflanzen massiv angreifen und in vielen Gebieten Europas zu erheblichen Schäden an der Vegetation führen.

Ökosysteminterne Anpassungsmechanismen und das Puffervermögen der Waldböden gegenüber Säuren haben rund ein Jahrhundert das großflächige Auftreten von Schadsymptomen verhindert. Inzwischen sind jedoch bei einem Teil der Wälder — Ulrich (1993) schätzt ihn für Westdeutschland etwa auf ein Viertel des Bestandes — die Filtermechanismen erschöpft. Dies zeigt sich oberirdisch durch die zunehmende Anfälligkeit der Bäume gegenüber sekundären Streßfaktoren wie Trockenheit, Stürme oder Schädlingskalamitäten. In den Böden ist das Absinken des pH-Wertes und der Basensättigung (d. h. des Anteils von Kalzium-, Kalium- und Magnesiumionen an der effektiven Kationenaustauschkapazität) ein alarmierendes Zeichen für den labilen Zustand der Waldökosysteme. Ohne die (künstliche) Zufuhr von Nährelementen (Ca, Mg, K) ist vielfach der Nährstoffbedarf der kommenden Baumgeneration nicht mehr durch den Boden abgedeckt (Ulrich und Puhe 1994). Diese „nicht sichtbaren“ Schäden werden in Zukunft in Form von Zuwachsverminderungen in Kulturen, zusammenbrechenden Stangenhölzern, Baumsterben und einer weiteren Zunahme der Empfindlichkeit gegenüber sekundären Stressoren bemerkbar. Dies ist um so besorgniserregender, da die künftigen Klimaänderungen in weiten Teilen Europas zum verstärkten Auftreten trockener Sommer, starken Stürmen und Schädlingskalamitäten führen können (Kap. 5). Entsprechend sind Maßnahmen zur Stabilisierung der Wälder dringend erforderlich und stellen eine große Herausforderung dar. Um beispielsweise die kritische Schadstoffbelastung der Wälder nicht zu überschreiten, müßte laut Ulrich (1991) innerhalb der nächsten 10 bis 20 Jahre die Emission von NO_x und NH_3 um 55 bis 60 %, die von SO_2 um 25 % vermindert werden. Langfristig, d. h. in 20 bis 40 Jahren, sind bei den Stickstoffverbindungen Emissionsminderungen um 80 %, bei SO_2 um 50 %, jeweils auf das voraussichtliche Niveau von 1995 bezogen, erforderlich. Die Bundesrepublik Deutschland hat hier als einer der größten Schadstoffemittenten in Europa zwar eine besondere Verantwortung. Anzustreben ist jedoch — vor allem

im Hinblick auf die grenzüberschreitenden Schadstofftransporte — eine Verminderung in allen europäischen Staaten. Die bereits bestehenden Vereinbarungen im Rahmen der Genfer Luftreinhaltekonvention sind vor diesem Hintergrund wesentlich zu verschärfen (vgl. Kap. 7.3.1). Dabei ist zu beachten, daß zwischen der Reduktion der Schadstoffemission und spürbaren Verbesserungen in den Waldökosystemen Zeiträume von mehreren Jahren und mehr vergehen.

3.6 Sonstige Waldgefährdungen

Neben der Waldschädigung durch Luftverunreinigungen und deren Deposition treten eine Vielzahl von Einflußfaktoren auf, die die Waldentwicklung nachteilig verändern. Im einzelnen sind in diesem Zusammenhang zu nennen:

- Waldbrand
- extreme Wetterereignisse
- biotische Schäden (Insekten, Pilze, Wild)
- Erosion
- Tagebau
- Landnutzungskonflikte (Waldweide, Jagd, Tourismus, illegale Nutzungen)
- Probleme der Forstwirtschaft (keine standortgerechten Baumarten, ungünstige Altersklassenverteilung, mangelnde Bestandspflege, Übernutzung, hoher Anteil an Niederwald)

Die Wirkungen dieser Faktoren sind in der Regel regional begrenzt und können nur Ansatzweise abgeschätzt werden. Als Beispiel für die zum Teil sehr komplexen Zusammenhänge kann der Einfluß des Braunkohleabbaus auf die Waldbestände herangezogen werden. Im Zusammenhang mit dem Tagebau sind insbesondere die zumindest zeitweise auftretenden Waldverlusten im Bereich der Abbauflächen von Bedeutung. Darüber hinaus kann sich der massive Einfluß des Braunkohleabbaus auf den Wasserhaushalt indirekt auf die Wälder auswirken. Eine der Voraussetzungen für den bergmännischen Braunkohleabbau ist das Absenken des Grundwasserspiegels, das Abfangen der in das Abbaugelände strömenden Grund- und Oberflächenwässer und das Ableiten der abgepumpten Wässer in die nahegelegenen Vorfluter. Allein im rheinischen Braunkohlerevier werden in den vier Abbaustellen jährlich knapp 800 Mio. m³ Wasser abgepumpt. Im Bereich der Erftscholle ist der Grundwasserpegel bis in eine Tiefe von 600 m abgesenkt worden, im Norden des Braunkohlereviere bis in etwa 100 bis 120 m. Noch größer sind die Eingriffe im Bereich des Lausitzer Braunkohlereviere. Hier werden zur Zeit pro Jahr etwa 1 000 Mio. m³ Wasser gehoben und in die nahegelegenen Flüsse — vor allem die Spree — eingeleitet. Auf 2 117 km² wurde das Grund-

wasser bis auf maximal 160 m Tiefe abgesenkt. Die Grundwasserentnahme übersteigt die Neubildungsrate um etwa das Dreifache. Das dadurch entstandene Grundwasserdefizit wird auf über 8 000 Mio. m³ geschätzt. Dazu kommen weitere 4 500 m³ Wasser, die in Zukunft zum Auffüllen der Tagebaurestlöcher benötigt werden.

Die massive Beeinflussung des Wasserhaushaltes durch den Braunkohletagebau stellt vor allem die Wasserversorgung vor erhebliche Probleme. Eine direkte Auswirkung auf die Waldbestände dürfte höchstens in Einzelfällen wirksam werden, da die Wälder ihren Wasserbedarf in der Regel durch das Niederschlagswasser abdecken, der Tagebau jedoch vor allem tiefliegende Grundwasserstockwerke betrifft. Indirekt können Waldbestände jedoch durchaus von den Auswirkungen des Braunkohleabbaus betroffen sein. So tragen zum Beispiel die vom Braunkohletagebau gehobenen Wässer in erheblichem Maße zum Erhalt des Spreewaldes bei. Will man das Grundwasserdefizit im Lausitzer Revier ausgleichen, so wird sich der Pegel der Spree unweigerlich deutlich absenken. Die Konsequenzen für den Spreewald können noch nicht abgesehen werden. Umgekehrt können in sensiblen Bereichen mit hohem Grundwasserstand (zum Beispiel in Teilen des Naturparks Maas-Schwalm-Nette) durch die Grundwasserabsenkung Waldschäden entstehen. Durch gezieltes Einleiten und Verrieseln von Wasser können derartige Effekte jedoch vermieden werden (TAB 1993).

Insgesamt ist es nicht möglich, einen vollständigen Überblick über Schadensflächen und Auswirkungen der einzelnen oben genannten Problembereiche darzulegen. Im folgenden sollen daher zwei wesentliche Schadfaktoren beispielhaft beleuchtet werden, die in einigen Regionen der gemäßigten Breiten erheblichen Einfluß auf die Waldentwicklung haben: Waldbrände und Wildverbiß.

3.6.1 Waldbrände

Waldbrände in der gemäßigten Zone sind vor allem in den USA und im Mittelmeerraum ein ernstes Problem. Zwar wurden in den USA große Erfolge im Kampf gegen die Waldbrandentstehung erzielt. Seit Beginn des Jahrhunderts sank die durchschnittliche Waldbrandfläche von 12 bis 16 Mio. ha/Jahr auf 1 bis 2 Mio. ha/Jahr (Haynes 1990, MacCleery 1992). Dennoch treten katastrophale Brände auch heute noch auf, wie die jüngsten Ereignisse in Kalifornien belegen. Die Intensität der Brände nimmt dabei zu, da sich aufgrund der Brandschutzmaßnahmen die Menge an Totholz und sonstiger leicht entzündlicher organischer Substanz in den Wäldern deutlich erhöht hat.

In Europa haben Waldbrände vor allem im Mittelmeerraum eine erhebliche Bedeutung. Hier brennen jährlich etwa 500 000 ha Wald- und Macchienflächen, davon der größte Teil in Spanien (Tab. 3.10).

Tabelle 3.10

Waldbrände im Mittelmeerraum

Land	Brandfläche (ha/Jahr)	Beobachtungszeitraum	Quelle
Griechenland	52 400	1980—1989	Knopf (1991)
Italien	ca. 50 000	1970—1986	Poker (1994 b)
Portugal	ca. 75 000	1978—1981	UN-ECE/FAO (1984)
Spanien	ca. 200 000	1972—1981	UN-ECE/FAO (1984)
Türkei	11 400	1982—1988	Canakcioglu (o.J.)
Sonstige	ca. 100 000	—	Poker (1994 b)

3.6.2 Wildschäden

Unter Wildschäden sind negative Einwirkungen des im Wald lebenden Wildes auf das Pflanzenwachstum zu verstehen, die in der Regel entweder durch Verbiß oder das Abschälen der Rinde entstehen. Diese Schäden sind insofern klimarelevant, als daß sie zu einer Destabilisierung der Waldökosysteme und damit einer Verringerung der Anpassungsfähigkeit an künftige Klimaänderungen führen. Besonders betroffen sind dabei die Bergwälder, die durch andere anthropogene Einwirkungen (z. B. Ski-Tourismus), ohnehin stark belastet sind.

Die übliche Jagd- und Hegepraxis hat in der Bundesrepublik Deutschland in vielen Regionen zu überhöhten Schalenwildbeständen und damit zur Ausweitung von Verbißschäden in den Wäldern geführt. Diese sind zu einem wesentlichen Einflußfaktor für den Zustand und die Entwicklung der Wälder geworden. Im Rahmen der jüngsten Bundeswaldinventur wurde ermittelt, daß ein Drittel der Bäume mit einer Höhe von 20 bis 50 cm geschädigt sind. Darüber hinaus wiesen 25 % der Bäume über 10 cm Brusthöhendurchmesser (BHD) Stammschäden auf (BML 1993 b).

Über den Wildbestand liegen nur Schätzungen vor (Tab. 3.11). Danach leben in den Wäldern der Bundes-

republik allein 2,1 Mio. Stück Rehwild, 165 000 Stück Schwarzwild, 145 000 Stück Rotwild. Dazu kommen noch die Bestände der drei vom Menschen eingeführten Schalenwildarten: 72 000 Stück Damwild, 20 000 Stück Muffelwild und 1 500 Stück Sikawild.

In einem naturnahen Wald wird der Wildbestand von einer Vielzahl natürlicher Regelungsmechanismen gesteuert (Abb. 3.8). Diese sind vom Menschen weitgehend außer Kraft gesetzt worden. So sind die Beutegreifer aus den Wäldern Mitteleuropas verdrängt worden, und Krankheiten können durch Verabreichung von Medikamenten mit dem Futter behandelt oder verhindert werden. Besonders problematisch wirkt sich die zusätzliche Fütterung im Herbst und Frühjahr aus, die Nahrungsengpässe vermeidet und die Fortpflanzung des Wildes begünstigt. Den Jägern ist es aufgrund der rechtlichen Bestimmungen je nach Bundesland erlaubt, die winterliche Fütterung auf bis zu acht Monate auszudehnen. Dadurch steigt nicht nur der Wildbestand, sondern auch die Stärke der Trophäen.

Die Hegepraxis der Jäger hat innerhalb der vergangenen Jahrzehnte zu einer starken Zunahme der Wilddichte geführt, die sich deutlich auf den Zustand der Waldökosysteme auswirken und im einzelnen folgenden Schäden hervorrufen:

- Zuwachsverluste durch Wildverbiß,
- Beeinträchtigung der Verjüngung, insbesondere bei Laubbäumen und Tannen, durch den massiven Verbiß von Jungpflanzen,
- Verlust von Arten in der Kraut- und Strauchschicht durch Äsung,
- Verringerung der Anpassungsfähigkeit an künftige Klimaänderungen aufgrund der eingeschränkten Wanderfähigkeit der Bäume in Gebieten mit hohen Wilddichten.

Die Verbißschäden sind häufig so groß, daß eine Waldverjüngung nur noch in umzäunten Arealen zufriedenstellend erreicht werden kann. So fallen zum Beispiel in den Bergwäldern der Alpen die Jungpflanzen der Tannen, Eiben, Ahorn, Eschen und anderen Laubbaumarten dem Wildverbiß nahezu vollständig zum Opfer (Burschel u. a. 1990). Durch die notwendigen Schutzmaßnahmen erhöht sich der Aufwand für die Forstwirtschaft erheblich. Es wird geschätzt, daß

Tabelle 3.11

Wildbestand in der Bundesrepublik Deutschland
— geschätzter Frühjahrs-Bestand ohne jährlichen Zuwachs —

Wildart	— Bundesländer —	
	alt	neu
Rohwild	85 000	60 000
Damwild	32 000	40 000
Sikawild	1 500	—
Rehwild	1 700 000	400 000
Muffelwild	8 000	12 000
Schwarzwild	85 000	80 000
Gamswild	10 000	—

Quelle: DJV 1992

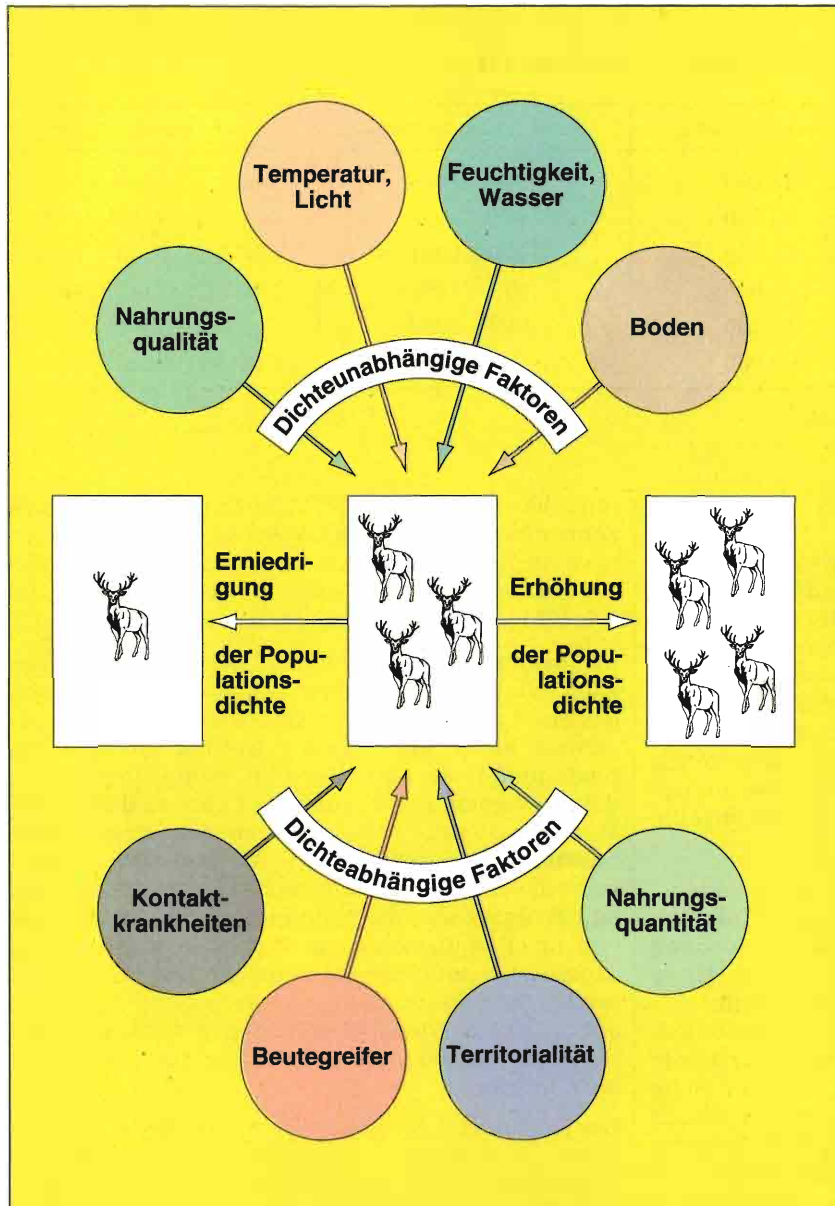


Abbildung 3.8: Dichteunabhängige und -abhängige Faktoren für die natürliche Regulierung des Wildbestandes
Quelle: Oelke und Schulz-Kühnel 1986

zum Schutz von Aufforstungen vor Wildschäden durchschnittlich Kosten in Höhe von 20 bis 25 DM/ha Holzbodenfläche (effektiv bewirtschaftete Waldfläche ohne Wege u. ä.) entstehen. Dies würde einem Gesamtumfang von rund 250 Mio. DM pro Jahr entsprechen. In Jahren mit hohen Wiederaufforstungsraten, zum Beispiel nach extremen Sturmereignissen, erhöht sich dieser Wert erheblich. Berücksichtigt bei diesen Kosten sind nur die Material- und Arbeitskosten zur Anbringung von Zäunen, Manschetten und anderen Schutzvorrichtungen (Mittelung BML).

Besonders problematisch ist, daß vor allem naturgemäße Waldbewirtschaftungsformen, die auf eine ausreichende Naturverjüngung angewiesen sind, stark unter Verbißschäden leiden. Dagegen sind Fichtenreinbestände weniger gefährdet, da die Fichte nur in Notzeiten verbißen wird. Hohe Wildbestände verhindern daher nicht selten die Umstellung der Bewirtschaftung auf naturgemäße Verfahren.

Um der Gefährdung durch Wildverbiß wirkungsvoll begegnen zu können, reichen die bisherigen rechtlichen Bestimmungen nicht aus (vgl. Kap. 7.3.3.2).

4. Bestand und Gefährdung der tropischen Wälder

Vorbemerkung

In ihrem zweiten Bericht hat die Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ die Problematik der Tropenwaldvernichtung ausführlich behandelt und umfangreiche Handlungsempfehlungen erarbeitet (EK 1990 a). An dieser Stelle soll daher lediglich eine kurze und aktualisierte Darstellung des Ausmaßes sowie der Ursachen und Folgen der unvermindert fortschreitenden Tropenwaldvernichtung erfolgen. Sofern keine anderen Quellen angegeben sind, stützen sich die Aussagen auf den oben genannten Kommissionsbericht.

4.1 Geographische Verbreitung, Gliederung und Ökologie der tropischen Waldökosysteme

Die Abgrenzung der Tropen kann anhand verschiedener klimatischer Kriterien erfolgen und ist nicht einheitlich. Im folgenden soll unter den Tropen die Zone verstanden werden, in der die tageszeitlichen

Temperaturschwankungen größer sind als die jahreszeitlichen. Der so definierte Raum erstreckt sich in etwa vom nördlichen zum südlichen Wendekreis und umfaßt somit weite Teile Lateinamerikas, Afrikas, ganz Süd- und Südostasien sowie das nördliche Australien (Abb. 4.1).

Für die vegetationsgeographische Gliederung der Tropen ist die Höhe und zeitliche Verteilung der Niederschläge von maßgeblicher Bedeutung. Aufgrund der ganzjährig hohen Temperaturen (mit Ausnahme der tropischen Gebirgsregionen) sind die Feuchtigkeitsverhältnisse der entscheidende Faktor für die Pflanzenentwicklung. Für die Entstehung von Wäldern sind dabei Jahresniederschläge von mindestens 500 bis 700 mm notwendig. In Teilen der Tropen werden diese Werte nicht erreicht, sie sind daher natürlicherweise waldfrei. Die meisten tropischen Gebiete sind jedoch mit Wald bestockt. Die Gesamtwaldfläche betrug Anfang der 90er Jahre laut FAO (1993a) 1 710 Mio. ha. Dabei tritt eine erhebliche zonale und regionale Vielfalt verschiedener Waldökosystemtypen auf, die im folgenden grob charakterisiert werden soll.

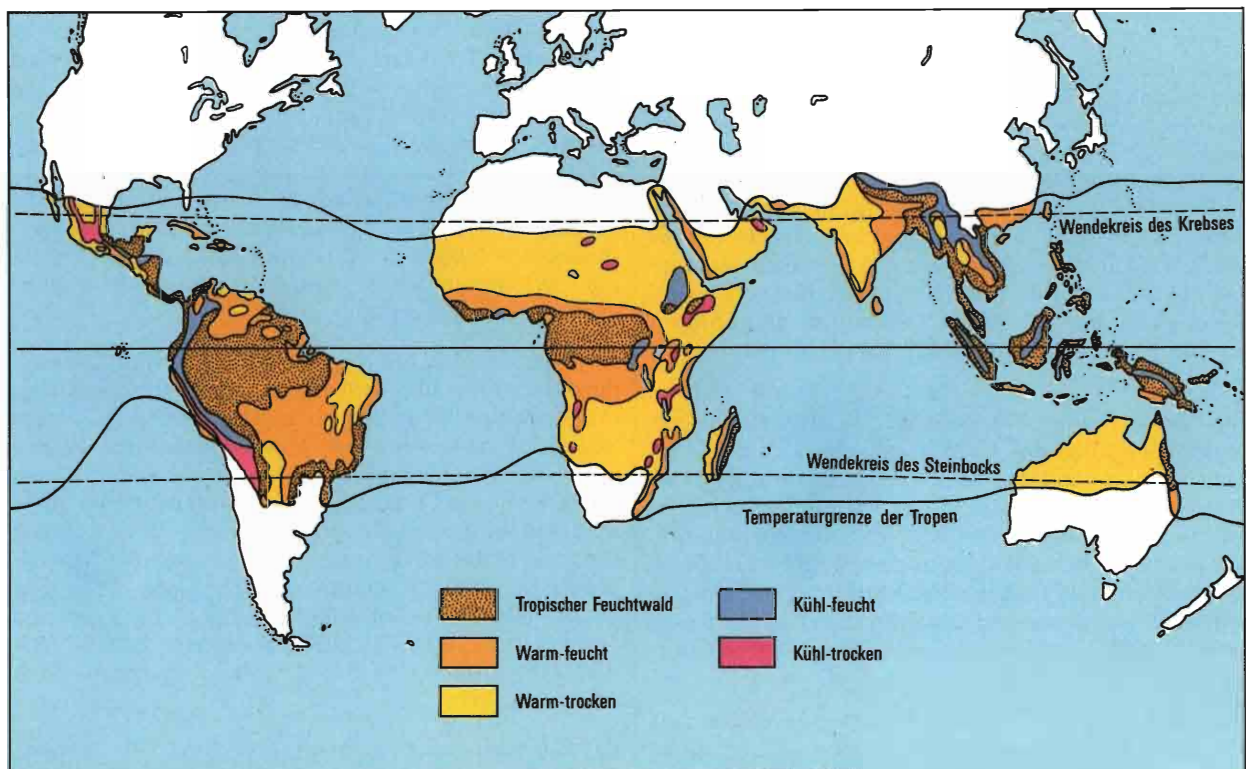


Abbildung 4.1: Grenzen der Tropen und Zonierung nach Temperatur und Feuchtigkeit (hygrothermische Zonierung)

Quelle: EK 1990a

4.1.1 Immergrüne tropische Feuchtwälder

Das Verbreitungsgebiet der immergrünen tropischen Feuchtwälder ist auf Regionen beschränkt, in denen ganzjährig ausreichend Feuchtigkeit für das Pflanzenwachstum zur Verfügung steht. Im Durchschnitt liegen die Jahresniederschläge zwischen 2000 und 3000 mm, in Extremfällen erreichen sie Höhen von über 12 000 mm. Die Trockenzeit dauert maximal zwei Monate. Im wesentlichen sind immergrüne tropische Feuchtwälder in den inneren Tropen, etwa zwischen 10° Nord und 10° Süd, anzutreffen.

Tropische Regenwälder

Der überwiegende Teil der immergrünen Feuchtwälder befindet sich in den tropischen Tieflandgebieten in Höhen bis etwa 800 m ü. NN. Dieser als Regenwald bezeichnete Waldtypus beschränkt sich auf das Amazonas-Orinoko-Becken in Südamerika, den Golf von Guinea und das Kongo-Becken in Afrika sowie Sri Lanka, das westliche Indien, Thailand, Indochina, die Philippinen, Malaysia, Neuguinea und Indonesien in Asien. Das Verbreitungsgebiet umfaßt insgesamt etwa 700 Mio. ha (FAO 1993a).

Die tropischen Regenwälder sind durch eine vielfältige physiognomische und ökologische Struktur gekennzeichnet. In der Regel weisen sie drei bis vier Vegetationsschichten auf. Die höchsten Bäume erreichen Höhen von 45 bis 55 m, gelegentlich bis über 60 m. Sie stehen einzeln oder gruppenweise, bilden kein geschlossenes Dach und werden daher als Überständer bezeichnet. Die darunter liegende, meist geschlossene Kronenschicht wird von 30 bis 35 m hohen Bäumen gebildet. Je nach einfallender Lichtmenge befindet sich darunter eine dritte oder gar vierte Baumschicht. Jedes Stockwerk ist durch spezifische ökologische Bedingungen gekennzeichnet. So nimmt der Lichteinfall von oben nach unten rasch ab. Die oberste Schicht läßt oftmals nur noch ein Viertel des Lichteinfalls in tiefere Schichten durchdringen. Nur 1 % und weniger des Lichtes dringt bis in Bodennähe vor. Die im Tagesverlauf auftretenden Temperaturschwankungen nehmen wie die Verdunstungsrate von oben nach unten ab. Relative Luftfeuchte und CO₂-Gehalt der Luft liegen dagegen in den unteren Schichten deutlich höher als in den oberen Stockwerken.

Der limitierende Wachstumsfaktor in tropischen Regenwäldern ist das Licht. Das „ewige Dunkel“ im Innern dieser Wälder verhindert die Entstehung einer Strauch- und Krautschicht. Eine Regeneration tritt in der Regel nur in Lücken auf, die durch Baumfall, Erdrutsche, Sturm oder Feuer entstehen. Da diese kleinräumig stets vorkommen, sind intakte tropische Regenwälder durch ein kleinräumiges Mosaik aus unterschiedlich weit entwickelten Beständen gekennzeichnet.

Die horizontale und vertikale strukturelle Vielfalt hat zusammen mit den seit Jahrmillionen relativ ungestörten günstigen Wachstums- und Entwicklungsbedingungen zur Entstehung einer unüberschaubaren Artenfülle geführt. Weltweit sind derzeit etwa 1,5

Mio. Tier- und Pflanzenarten wissenschaftlich erfaßt und beschrieben. Davon sind 36 % der höheren Pflanzen, mehr als 90 % der Farne, 75 % der Moose und mehr als 40 % der Arthropoden (Gliederfüßler, z. B. Insekten, Krebse und Spinnen) in den Tropen beheimatet. Über die tatsächlich vorhandene Artenzahl bestehen nur sehr vage Vorstellungen. Konservative Schätzungen gehen von drei bis zehn Mio. Arten aus. Einzelne Studien schätzen die Zahl auf dreißig bis fünfzig Mio.. Da etwa 90 % der unbeschriebenen Arten in den Tropenwäldern beheimatet sein dürften, nimmt man an, daß in den tropischen Feuchtwäldern 50 bis 75 % aller auf der Erde vorkommenden Tier- und Pflanzenarten leben. Einige Schätzungen gehen sogar von 90 % aus. Ein typisches Merkmal für die tropische Tier- und Pflanzenwelt ist der sehr große Unterschied der Artenzusammensetzung an verschiedenen Standorten, verbunden mit einem hohen Grad von Endemismus (d. h. Begrenzung des Verbreitungsgebietes einer Art auf einen sehr engen Bereich). Auf Madagaskar sind etwa 60 % der rund 12 000 hier beheimateten Pflanzenarten Endemiten. Auch Indonesien mit seinen 13 000 Inseln weist einen sehr hohen Endemismusgrad auf.

Verbunden mit der großen Artenzahl in tropischen Feuchtwäldern ist eine geringe Zahl von Individuen einer Art pro Flächeneinheit. Dies gilt insbesondere für Bäume und Wirbeltiere. Auf einem Hektar tropischen Regenwaldes treten häufig über 100 verschiedene Baumarten auf. Von den häufigsten Baumarten finden sich oftmals nur zwei bis drei Exemplare auf einem Hektar, viele Baumarten sind auf 10 ha nur mit einem fortpflanzungsfähigen Individuum vertreten. Die meisten Tierarten verteilen sich in jeweils relativ kleinen Populationen auf eine Vielzahl einzelner ökologischer Nischen. Dabei handelt es sich im wesentlichen um pflanzenfressende (herbivore) Ameisen und Insekten. Insbesondere Wirbeltiere sind selten. Entsprechend ist die tierische Biomasse in tropischen Regenwäldern auffällig gering. Im amazonischen Regenwald wurden pro Hektar lediglich 30 kg pflanzenfressender (herbivore) und 15 kg fleischfressender (carnivore) Tiere ermittelt. Mit einem Verhältnis von pflanzlicher zu tierischer Biomasse von etwa 1 : 2 500 dürften diese Wälder relativ zur Phytomasse den geringsten Tierbesatz aller Ökosysteme aufweisen.

Die Biomassendichte tropischer Regenwälder ist ausgesprochen hoch. Sie wird nur von den temperierten Regenwäldern entlang der pazifischen Küste Nordamerikas übertroffen. Im Mittel beträgt die Phytomasse pro Hektar etwa 500 t Trockensubstanz. 75 bis 90 % davon sind oberirdisch und liegen zu über 90 % in Form von Holz lebender Bäume vor. Auf die Blattmasse entfallen nur 2 bis 3 %. Auch die Primärproduktion ist mit einem jährlichen Zuwachs von 20 bis 30 t/ha außerordentlich hoch. Eine genaue Quantifizierung ist allerdings z. B. aufgrund der fehlenden Jahresringe und der auftretenden Formenfülle schwierig.

Der Stoffumsatz in einem intakten tropischen Regenwald ist in Abbildung 4.2 wiedergegeben. Die Nährstoffversorgung der üppigen Pflanzendecke basiert erstens auf einem äußerst effizienten Recycling der

Nährstoffe und zweitens auf relativ hohen Nährstoffeinträgen, insbesondere von Kalium und Magnesium, aus der Luft. Untersuchungen aus Neuguinea ermittelten für montane Regenwälder in Neuguinea und der Elfenbeinküste, daß etwa zwei Drittel des Kalium-Eintrags von ca. 100 kg/ha/Jahr und ein Drittel des Magnesiumeintrags (ca. 30 kg/ha/Jahr) über die Niederschläge und die Kronenauswaschung erfolgte. Der Rest wurde über die anfallende Streu in den Boden eingebracht (Schultz 1988). Unter den feuchtwarmen Klimabedingungen werden die abgestorbenen Pflanzenteile sehr rasch mineralisiert und die in ihnen gespeicherten Nährstoffe freigesetzt. Über ein sehr dichtes Netz aus Feinwurzeln, vor allem im Oberboden, werden die Nährstoffe unmittelbar von den Pflanzen aufgenommen. Die Wurzeln vieler Bäume leben zudem in einer Symbiose mit bestimmten Pilzen, der sogenannten Mykorrhiza, deren ausgedehntes Geflecht von Fäden (Hyphen) eine direkte Verbindung zu den toten Pflanzenteilen der Streu herstellen und die Nährstoffe sehr rasch pflanzenverfügbar macht. Die Nährstoffe befinden sich also in einem extrem kurzen Kreislauf zwischen Primärproduzenten und Zersetzen. Entsprechend ist der größte Teil der Nährstoffe in den Pflanzen und nicht im Boden gespeichert.

Die Rolle des Bodens für die Nährstoffversorgung ist in feuchttropischen Wäldern weit weniger wichtig als in

anderen Ökosystemen. Ein direkter Zusammenhang zwischen Biomassendichte und natürlicher Bodenfruchtbarkeit ist in tropischen Regenwäldern nicht nachweisbar.

Die Böden sind tiefgründig verwittert, durch einen sehr hohen Tonanteil und einen relativ niedrigen Gehalt an organischer Substanz gekennzeichnet. Die Tonfraktion besteht hauptsächlich aus freien Eisen- und Aluminiumoxiden (Ferralite) und dem Mineral Kaolinit. Die Nährstoffspeicherkapazität (Sorptionsvermögen) ist äußerst gering. Eine intensive Nährstoffauswaschung wird jedoch aufgrund der raschen Aufnahme durch die Pflanzen weitgehend verhindert. Bis zu 90 % der Wurzeln befinden sich als dichtes Geflecht in den obersten 20 bis 30 cm des Bodens und sorgen zusammen mit der Mykorrhiza für eine optimale Nutzung des Nährstoffangebotes. Trotz allem auftretende Verluste werden durch den Eintrag aus der Luft ausgeglichen.

Die nährstoffarmen Böden sind zwar typisch für tropische Regenwaldökosysteme, jedoch keineswegs überall anzutreffen. Auf geologisch jungem Vulkangestein sind auch in den Tropen nährstoffreiche Böden entstanden, die nicht selten eine entscheidende Rolle für die landwirtschaftliche Produktion der entsprechenden Länder spielen. Beispiele dafür sind die Vulkangebiete auf den Inseln Java und Bali, in den



Abbildung 4.2: Nährstoff- und Wasserzyklus in einem intakten tropischen Regenwald

Quelle: EK 1990a

Anden und in West- und Ostafrika (Kamerun, Ruanda und Burundi). Ähnlich günstige Bodenverhältnisse treten zudem im Überschwemmungsbereich tropischer Weißwasserflüsse auf, wo sich nährstoffreiche Sedimente aus den geologisch jungen Gebirgen (z. B. Anden) ablageren.

Sonstige immergrüne tropische Feuchtwälder

In gebirgigen und damit kühleren Regionen gehen die Regenwälder des Tieflands in Bergregenwälder über. Diese werden unterschieden in Wolkenwälder, die in Höhen zwischen 800 und etwa 2 000 m ü. NN stocken, und Nebelwälder, die oberhalb dieser Höhe auftreten und deren Wasserversorgung überwiegend durch die sehr häufigen Nebel gesichert wird. Beide Ökosystemtypen sind durch eine geringere Artenvielfalt, Baumhöhe und Biomassendichte als die Tieflandwälder gekennzeichnet. Zudem treten verstärkt Moose, Farne und Flechten als Epiphyten auf. Dies gilt vor allem für die Nebelwälder, die den mit Abstand größten Epiphyten-Anteil an den vorkommenden Pflanzenarten aufweisen. Zudem sind sie durch einen dichten Unterwuchs mit Stauden und Sträuchern gekennzeichnet.

Zu den immergrünen tropischen Feuchtwäldern werden auch die entlang einiger Gebirge an den Ostseiten der Kontinente stockenden Waldtypen gezählt. Beispiele hierfür sind die Wälder an der Ostküste Brasiliens und Madagaskars. Die ganzjährigen Niederschläge werden hier im Winter durch die aufsteigenden Luftmassen im Luv der Küstengebirge hervorgerufen. Im Sommer überwiegen die für die Tropen charakteristischen konvektiven Niederschläge.

4.1.2 Regengrüne tropische Feuchtwälder

Unter dem Begriff regengrüne Feuchtwälder werden alle tropischen Wälder zusammengefaßt, die während einer deutlich ausgeprägten zwei- bis fünfmonatigen Trockenzeit zumindest Teile ihres Laubs abwerfen. Ihre Abgrenzung sowohl zu den immergrünen Feuchtwäldern als auch zu den Trockenwäldern ist unscharf. Die Niederschläge fallen insbesondere während der Sommermonate und liegen im Jahresmittel bei etwa 1 000 bis 1 500 mm. Die regengrünen Feuchtwälder werden häufig als Feuchtsavanne bzw. Passat- und Monsunwälder bezeichnet. Ihre Bestockung ist weit weniger dicht und vielfältig als in den immergrünen Wäldern, sie stellen jedoch geschlossene Waldformationen mit einem mehr oder weniger geschlossenen Unterwuchs aus Kräutern und Gräsern dar.

Die biologischen und physiognomischen Unterschiede der als regengrüne Feuchtwälder zusammengefaßten Waldökosysteme sind äußerst groß, so daß eine einheitliche ökologische Charakterisierung kaum möglich ist. Wichtige Unterschiede zu den immergrünen Tropenwäldern sind der niedrigere Anteil der Holzpflanzen an der Phytomasse, das zeitweise Entstehen einer Auflageschicht aus abgestorbener Biomasse während der Trockenzeit, ein

wesentlich höherer Tierbesatz und von Zeit zu Zeit auftretende natürliche Brände. Die Böden in der sommerfeuchten Zone der Tropen sind im Durchschnitt etwas nährstoffreicher als in den immerfeuchten Tropen. Das Nährstoffangebot ist jedoch immer noch so gering, daß eine optimale Ausnutzung durch die Pflanzen notwendig ist. Entsprechend spielen auch hier Mykorrhizen eine wesentliche Rolle für die Nährstoffversorgung der Bäume.

Das Verbreitungsgebiet der regengrünen Feuchtwälder erstreckt sich im Anschluß an die immerfeuchten Regionen im Osten und Süden Afrikas, in Vorder- und Hinterindien, an der australischen Nord- und Ostküste sowie südlich und nördlich des Amazonasregenvales. Weltweit wird das Verbreitungsgebiet auf etwa 300 Mio. ha geschätzt (FAO 1993a).

4.1.3 Regengrüne Trockenwälder

Tropische Trockenwälder, auch Trockensavanne genannt, treten in einem Klima mit einer fünf- bis achtmonatigen Trockenzeit und Jahresniederschlägen von 700 bis 1 000 mm, bei erheblichen jährlichen Variabilitäten, auf. Sie schließen sich an die Zone der regengrünen Feuchtwälder an und sind während der Trockenzeit vollständig oder überwiegend laubfrei. Mit zunehmender Trockenheit lichtet der Baumbestand mehr und mehr auf. Gleichzeitig nimmt die Baumhöhe von etwa 12 auf 4 Meter ab. Der Unterwuchs wird von einer beinahe undurchdringlichen Strauch- und Grasschicht gebildet. Die Trockenwälder sind wesentlich artenärmer als die anderen tropischen Waldformationen.

Charakteristisch ist die starke Konkurrenz um Nährstoffe und Wasser zwischen Gräsern und Bäumen. Durch ihr dichtes oberflächennahes Wurzelgeflecht nehmen die Gräser einen Großteil des Wassers und der freigesetzten Nährstoffe auf. Die Bäume beziehen Nährstoffe und Wasser daher aus tieferen, für die Gräser unerreichbaren Bodenzonen. Eine wichtige Rolle im Nährstoffkreislauf spielen die in den Trockenwäldern häufig auftretenden Brände. Sie führen zu einer vorübergehenden Anreicherung von Kalzium, Kalium und Magnesium, gleichzeitig jedoch zu deutlichen Schwefel- und Stickstoffverlusten. Letztere werden vor allem durch luftstickstofffixierende Mikroorganismen und Blaualgen ausgeglichen. Darüber hinaus wird Stickstoff über das Regenwasser eingetragen.

Tropische Trockenwaldformationen treten in Afrika vor allem südlich des Äquators in Kenia, Simbabwe, Tansania und Westangola auf. Reste finden sich noch im westlichen Sahel. In Lateinamerika kommen Trockenwälder im Regenschatten der Kordillieren zwischen Mexiko und Costa Rica sowie in Nordost-Brasilien vor. Im tropischen Asien beschränkt sich das Verbreitungsgebiet auf die trockenen Beckenlandschaften Thailands und Oberburmas und die trockenen Monsunzonen Indiens und der Sundainseln. Die weltweit von Trockenwäldern eingenommene Fläche wird auf etwa 250 Mio. ha geschätzt (FAO 1993a).

4.1.4 Tropenwälder auf Sonderstandorten

Zu den von der zonalen Klimavegetation abweichenden Waldgesellschaften gehören Wälder auf Sonderstandorten, die gewöhnlich durch besondere Boden- und Wasserverhältnisse bestimmt werden. Zu ihnen gehören die Mangrovenwälder, die im Überschwemmungsbereich der Meere auftreten. Sie setzen sich aus Arten zusammen, die an die häufige Überschwemmung mit salzhaltigem Wasser angepaßt sind.

Sonderstandorte stellen ebenso die Überschwemmungs- und Uferbereiche der Flüsse dar. Beispiele für die hier stockenden Wälder sind die „Igapó-Wälder“ entlang der nährstoffarmen Schwarzwasserflüsse bzw. die „Varzea-Wälder“ im Überschwemmungsbereich der nährstoffreichen Weißwasserflüsse im Amazonas-Orinoko-Becken. Ähnliche Formationen kommen auch in Guayana, der Karibik und in Asien vor. Des weiteren sind die Galeriewälder entlang der Wasserläufe in Savannengebieten zu nennen.

Bei besonders ausgeprägter Armut der Böden an pflanzenverfügbaren Nährstoffen entwickeln sich sogenannte Heidewälder. Beispiele für diese Waldtypen sind die durch lichten Baumbestand gekennzeichnete Caatinga in Brasilien und die Kerangas auf Borneo.

4.2 Die Bedeutung der tropischen Wälder

4.2.1 Schutz und Versorgungsfunktion

Weltweit finden 200 bis 300 Mio. Menschen in den Tropenwäldern ein reichhaltiges Angebot an Nüssen, Beeren, Wild, Fisch, Honig und anderen Nahrungsmitteln. Der Wert dieser Produkte wird in der Regel deutlich unterschätzt. Untersuchungen in Peru belegen, daß diese für den lokalen Markt bestimmten Produkte zusammen einen weitaus höheren Wert als das nutzbare Holz aufweisen (Peters u. a. 1989). Im Zentrum des kommerziellen Interesses an den Tropenwäldern stehen, abgesehen vom Holz, verschiedene Rohstoffe, wie z. B. Kautschuk, Harze, Rattan sowie eine Vielzahl möglicherweise medizinisch nutzbarer Pflanzen. Allein 70 % der 3 000 am nationalen Krebsforschungsinstitut der Vereinigten Staaten identifizierten Pflanzen mit möglicherweise krebshelenden Eigenschaften stammen aus tropischen Regenwäldern. Den im Tropenwald heimischen Amazonas-Indianern sind 1 300 von westlichen Wissenschaftlern weitgehend unerforschte Heilpflanzen bekannt. Kommerziell verwertet werden bisher nur 90 Pflanzenarten. Das Interesse an den medizinisch nutzbaren Ressourcen der Tropenwälder wächst jedoch rasch. Beleg dafür ist zum Beispiel der Erwerb der Nutzungsrechte an einem unter Schutz gestellten Regenwald in Costa Rica durch einen US-amerikanischen Pharmakonzern.

Auch für die Landwirtschaft ist der biologische und genetische Reichtum der Tropenwälder von großer Bedeutung. Bereits heute werden 1 650 Pflanzenarten der Tropen als potentiell nutz- und kultivierbar einge-

stuft. Sie könnten nicht nur die Ernährungssituation in Zukunft verbessern, sondern auch zur landwirtschaftlichen Rohstoffherzeugung (Öle, Rattan, Süßstoffe u. a.) beitragen. Zudem bieten die bis heute nur teilweise bekannten genetischen Ressourcen der tropischen Waldpflanzen ein unermeßliches Potential für die Züchtung resistenter Nutzpflanzen. Durch die rasch voranschreitende Zerstörung der tropischen Primärwälder werden zukünftige Nutzungsmöglichkeiten unwiederbringlich verspielt.

Die Tropenwälder stellen Heimstatt und kulturelle Identität für eine Vielzahl von Naturvölkern und ethnischen Minderheiten dar. Verlieren diese Menschen ihren Lebensraum, ist nicht nur ihre Identität, sondern häufig auch ihr physisches Überleben gefährdet.

Über die Schutz- und Versorgungsfunktion hinaus sollte auch die Bedeutung immaterieller Werte nicht unbeachtet bleiben. Dazu gehören:

- der Existenzwert, der Wert, den ein Umweltgut allein dadurch hat, daß man von seiner Existenz weiß und der völlig von der Nutzung durch den Menschen unabhängig ist. Ihn zu berücksichtigen bedeutet, die Tropenwälder um ihrer Selbst willen zu erhalten. Neben ihm gibt es den
- Vermächtniswert, der dem Nutzungswert der tropischen Wälder für zukünftige Generationen entspricht und sich aus der Verantwortung diesen gegenüber ergibt sowie den
- Optionswert, der aus der Möglichkeit einer bisher unbekannten zukünftigen Nutzung des Tropenwaldes erwächst.

Das Interesse an der Erhaltung solcher immaterieller Werte liegt im langfristigen Eigeninteresse sowohl der betroffenen Länder als auch der Industrieländer. Dieses beiderseitige Interesse, die wirtschaftliche Lage der meisten Tropenwaldländer und die direkte oder indirekte Verantwortung der wirtschaftlich stärkeren Industrieländer für die Gefährdung dieser Werte sowie die Verantwortung für zukünftige Generationen gebieten einen Beitrag der Industrieländer zum Erhalt dieser Werte.

4.2.2 Die Rolle für das regionale und globale Klima

Die tropischen Wälder sind ein bestimmender Faktor für das regionale und globale Klimageschehen. Ihr Einfluß basiert dabei auf

- dem direkten Einfluß auf die Strahlungsbilanz durch die geringe Rückstrahlung (Albedo),
- dem indirekten Einfluß auf die Strahlungsbilanz durch die Wolkenbildung vor allem über den geschlossenen Tropenwäldern,
- ihre Rolle im globalen Kohlenstoffkreislauf,
- ihre Rolle im Wasserhaushalt.

Geschlossene tropische Wälder stellen die dunkelste natürliche Landoberfläche dar. Sie reflektieren nur etwa 13 % der einfallenden Sonnenstrahlung. 87 % der Sonnenstrahlung werden also absorbiert.

Der größte Teil der absorbierten Energie wird für die Verdunstung des Wassers verbraucht. Nicht zuletzt deswegen sind die Tropenwälder äußerst bedeutsam für den Wasserkreislauf. Ein Teil der Niederschläge verbleibt auf den Blättern der Bäume und verdunstet von dort (Interzeption). Die auf diese Weise verdunstete Wassermenge erreicht z. B. in Amazonien ein Viertel des Niederschlags. Weitere 50 % werden unmittelbar von den Pflanzen transpiriert. Rund ein Viertel des Wassers fließt ober- und unterirdisch ab. Besonders in den wenig ozeanisch beeinflussten Gebieten stellt die Interzeption und Transpiration der Regenwälder die wichtigste Feuchtigkeitsquelle für die Wolkenbildung dar. Die Wolkenbildung verringert ihrerseits die Sonneneinstrahlung und ist die Grundlage für das Entstehen von Niederschlägen.

Die Tropenwälder spielen mit einer Speichermenge von rund 375 Mrd. tC (davon 160 Mrd. t in der lebenden Biomasse und 215 Mrd. t in den Böden) eine wichtige Rolle im globalen Kohlenstoffkreislauf (Brown u. a. 1993). Durch die anthropogene Waldvernichtung wird dieser Kohlenstoffpool jährlich um etwa 1,6±1,0 Mrd. tC reduziert. Diese Emission ist zu etwa 10 bis 20 % am zusätzlichen Treibhauseffekt beteiligt (vgl. Kap 6).

4.2.3 Brennholzgewinnung und Nutzholzeinschlag

Fast die Hälfte des weltweit genutzten Holzes entstammt den tropischen Wäldern (Tab. 4.1). Nach Angaben der FAO betrug das gesamte Aufkommen in den tropischen Ländern im Jahr 1991 etwa 1 600 Mio. m³ Holz. Rund 84 % (ca. 1 343 Mio. m³) davon wurden als Brennholz¹⁾ und 16 % (258 Mio. m³) als Nutzholz zur industriellen Verarbeitung verwen-

¹⁾ Unter dem Begriff Brennholz fällt hier und im folgenden sämtliches Holz, das als Energieträger Verwendung findet, einschließlich des Anteils, der zu Holzkohle umgewandelt wird (nach FAO etwa 10 %).

det. Mit 72 Mio. m³ werden etwa 28 % davon exportiert (Tab. 4.2).

Der Anteil des Nutzholzes ist in Afrika mit 9 % am geringsten und in Lateinamerika mit 25 % am höchsten. Das höchste Gesamtaufkommen fällt mit 731 Mio. m³ in den tropischen Ländern Asiens an. Hier wird auch die größte Nutzholzmenge produziert (118 Mio. m³).

Die in Tabelle 4.1 und 4.2 wiedergegebenen Daten entsprechen nicht dem tatsächlichen Einschlag. Zwar sind beim Brennholz im allgemeinen die eingeschlagene und die genutzte Menge annähernd identisch, beim Nutzholz wird jedoch nur der verwendbare Teil des Stammes statistisch erfaßt. Entsprechend liegt das Einschlagsvolumen hier deutlich höher als das Holzaufkommen.

Die Verwendung des Holzes variiert regional erheblich. So ist das Sammeln und Einschlagen von Brennholz vor allem in den trockenen Tropen dominant. In den immergrünen und regengrünen Waldzonen liegt der Nutzholzanteil am Gesamtholzaufkommen höher als in den tropischen Trockenräumen.

Es ist zudem festzustellen, daß in einigen tropischen Ländern (vor allem Brasilien und Mexiko) in erheblichem Maße Nadelholzpflanzungen zur Nutzholzgewinnung beisteuern. Insgesamt machten Nadelhölzer im Jahr 1991 mit 46 Mrd. m³ rund 18 % des Nutzholzvorkommens in den Tropen aus. Das Schwergewicht des Holzeinschlags liegt jedoch weiterhin bei den Laubbäumen in Primärwäldern. Zwischen 1986 und 1990 entfielen von den jährlich eingeschlagenen 5,9 Mio. ha Waldfläche 4,9 Mio. ha auf Primärwälder. Auf etwa 1 Mio. ha wurden Sekundärwälder eingeschlagen (FAO 1993c).

Etwa drei Viertel des Nutzholzes werden in den Herkunftsländern verbraucht, ein Viertel exportiert. In Abbildung 4.3 sind die wichtigsten Ursprungs- und Zielregionen für das Jahr 1990 wiedergegeben. Das Ex- bzw. Importvolumen berücksichtigt nur die tat-

Tabelle 4.1

Gesamtaufkommen und Verwendung von Holz in 75 tropischen Ländern im Jahr 1991
im Vergleich zur Weltproduktion

	Gesamtes Aufkommen	Brennholz		Nutzholz	
	Mio m³	Mio m³	in %	Mio m³	in %
Trop. Afrika	495,2	450,7	91	44,4 (41,9)	9
Trop. Amerika	375,3	279,6	75	95,7 (56,2)	25
Trop. Asien	731,4	613,2	84	118,2 (114,2)	16
Gesamt	1 601,9	1 343,5	84	258,3 (212,3)	16
Welt	3 429,4	1 830,2	53	1 599,3 (524,4)	47
Anteil Tropen (%)	46,7	73,4		16,2 (40,5)	

Die Zahlen in Klammern geben den Laubholzanteil an
Quelle: FAO 1993b

Tabelle 4.2

Exporte der wichtigsten Holzlieferländer der Tropen an Rundholz, Furnieren und Sperrholz im Jahr 1991

Land	Rundholz	Schnittholz		Furniere		Sperrholz		Summe
	in Mio. m³							
	FM	FM	RHÄ	FM	RHÄ	FM	RHÄ	RHÄ
Asien	22,82	7,50	13,65	0,58	1,10	10,65	24,50	52,07
Malaysia	19,46	4,98	9,06	0,48	0,91	1,19	2,74	32,17
Indonesien	1,43	0,79	1,44	0,04	0,04	8,20	18,86	21,77
Myanmar	0,70	0,04	0,07	—	—	—	—	0,77
Singapur	0,37	0,71	1,29	0,03	0,06	0,66	1,52	3,24
Vietnam	0,42	0,51	0,93	—	—	—	—	1,35
andere asiatische Staaten	0,44	0,47	0,86	0,03	0,06	0,60	1,38	2,74
Afrika	4,07	1,20	2,18	0,18	0,34	0,04	0,09	6,68
Elfenbeinküste	0,40	0,60	1,09	0,06	0,11	0,01	0,02	1,62
Gabun	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05	1,04
Ghana	0,22	0,16	0,29	0,02	0,04	0,00	0,00	0,55
Kamerun	0,73	0,25	0,46	0,02	0,04	0,00	0,00	1,23
Kongo	0,76	0,03	0,55	0,06	0,11	—	—	1,42
Liberia	0,70	0,03	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25
Zaire	0,09	0,02	0,04	0,01	0,02	—	—	0,15
andere afrikanische Staaten	0,18	0,14	0,25	0,01	0,02	0,01	0,2	0,47
Lateinamerika	0,43	0,99	1,80	0,09	0,17	0,35	0,81	3,21
Brasilien	0,05	0,48	0,87	0,05	0,10	0,30	0,69	1,71
Nicaragua	0,25	—	—	—	—	0,00	0,00	0,25
Paraguay	—	0,22	0,40	0,03	0,06	0,01	0,02	0,48
andere latein- amerikanische Staaten ..	0,13	0,29	0,53	0,01	0,02	0,04	0,92	1,60
Asien, Afrika, Lateinamerika	27,32	9,69	17,64	0,85	1,62	11,04	25,39	71,97

FM = Festmeter; RHÄ = Rohholzäquivalente

Umrechnungsfaktoren (nach ECE)

1 m³ Schnittholz = 1,82 m³ Rundholz1 m³ Furniere = 1,90 m³ Rundholz1 m³ Sperrholz = 2,30 m³ Rundholz

Quelle: FAO 1993b

sächlich transportierten Produkte, z. B. Furnier- und Sperrholz. Dagegen sind in Tabelle 4.2 auch die verarbeiteten Rohholzmengen aufgeführt.

Die mit Abstand größte Exportregion für Tropenholz und Tropenholzprodukte sind die südostasiatischen Staaten (vor allem Malaysia und Indonesien). Die Hauptabnehmer sind Japan, Südkorea und Taiwan. Die beiden letztgenannten Staaten verarbeiten dabei einen großen Teil des Importholzes, um ihn in Form von höherwertigen Produkten wieder zu exportieren.

Aus den tropischen Regionen Afrikas und Lateinamerikas beziehen die ostasiatischen Staaten nur in geringem Umfang Holz und Holzprodukte. Für die afrikanischen Produzenten stellt die EG den größten Absatzmarkt dar. Mit knapp 4,5 Mio. m³ nimmt sie rund 90 % der afrikanischen Holzprodukte auf, davon 3,3 Mio. m³ als unverarbeitetes Rundholz.

Im tropischen Lateinamerika spielt der Tropenhollexport mit 1,3 Mio. m³ eine vergleichsweise geringe Rolle. Drei Viertel davon gehen zu etwa gleichen Teilen in die USA und die Staaten der EG. Dabei

handelt es sich ganz überwiegend um Schnittholz, Furnier- und Sperrholz bzw. höherwertige Produkte.

Das Volumen des Tropenholzhandels hat sich zwischen 1986 und 1991 in Lateinamerika und Afrika kaum verändert, während die Exporte in Südostasien von 34,5 auf 30,2 Mio. m³ Holz zurückgegangen sind (EK 1990a, Rice und Counsell 1993). Insgesamt lagen die Exporterlöse aus der Holzwirtschaft in den tropischen Ländern im Jahr 1991 bei 11,6 Mrd. US-\$. Davon entfielen etwa jeweils rund 30 % auf Indonesien und Malaysia sowie weitere 13 % auf Brasilien (Tab. 4.3). Auffällig ist der hohe Anteil von Hong Kong und Singapur, die im wesentlichen importiertes Holz zu höherwertigen Produkten verarbeiten und wieder exportieren (vgl. Tab. 4.4). Die fünf größten Exporteure vereinigten im Jahr 1991 84 % der gesamten Exporterlöse aus dem Handel mit tropischem Holz auf sich.

Der Gesamterlös aus dem Export von Holz und Holzprodukten stieg in den Tropenländern während der 80er Jahre deutlich an. Im Jahr 1991 wurden weltweit 54 % mehr Gelder mit dem Export von Tropenholz erwirtschaftet als 1980. Dennoch waren in einigen

Staaten, z. B. den Philippinen, der Elfenbeinküste und Liberia deutliche Rückgänge um bis zu 80 % zu verzeichnen. Diese wurden jedoch überkompensiert durch große Exportsteigerungen vor allem in Malaysia, Thailand, Brasilien, Mexiko und Vietnam.

Die Zuwächse bei den Exporterlösen gehen nur zum Teil einher mit der Entwicklung des Nutzholzaufkommens. So stieg zum Beispiel das Nutzholzaufkommen in Mexiko seit 1980 um etwa 22 %, die Einnahmen aus dem Export von Holzprodukten stiegen dagegen auf das Siebenfache an. In Thailand ging das Nutzholzaufkommen, bei einem Anstieg der Exporterlöse um 385 %, sogar um 39 % zurück. Demgegenüber war die Ausweitung des Nutzholzaufkommens in Liberia um 36 % von einem Rückgang der Exporterlöse um 19 % begleitet. In diesen Zahlen drückt sich aus, daß einige südostasiatische und lateinamerikanische Staaten immer mehr Holzfertigwaren exportieren, während in einigen afrikanischen Staaten die ökonomisch weniger interessanten Rundholzexporte zugenommen haben.

Der Export von Holz und Holzprodukten ist vor allem in einigen kleinen, wenig industrialisierten Ländern von erheblicher Bedeutung für die Außenhandelsbi-

Tabelle 4.3

**Exporterlöse aus der Holzwirtschaft und Nutzholzaufkommen in den tropischen Ländern
1980 und 1991**

Land	Exporterlöse Holz- und Holzprodukte in Mio US-\$	Anteil in %	Veränderung 1980—1991 in %	Veränderung des Nutzholzaufkommens 1980—1991 in %
Indonesien	3 601	31,1	+ 20	- 5
Malaysia	3 120	27,0	+ 57	+38
Brasilien	1 472	12,7	+ 70	+21
Hong Kong ¹⁾	861	7,4	+1 250	—
Singapur ¹⁾	634	5,5	+ 20	—
Elfenbeinküste	278	2,4	- 53	-70
Gabun	226	2,0	+ 39	+21
Kamerun	201	1,7	+ 20	+42
Myanmar	148	1,3	+ 24	+43
Thailand	136	1,2	+ 385	-39
Mexiko	133	1,2	+ 681	+22
Kongo	129	1,1	+ 52	+97
Philippinen	94	0,8	- 81	-51
Vietnam	93	0,8	+3 056 ²⁾	+57
Ghana	93	0,8	+ 140	+64
Liberia	78	0,7	- 19	+36
Summe	11 164	96,5	+ 57	+30
Sonstige trop. Länder	399	3,5	+ 3	-33
Tropen gesamt	11 563	100,0	+ 54	+15

¹⁾ Wichtige Transithandelsländer

²⁾ Seit 1985

Quelle: FAO 1993b

Tabelle 4.4

**Beschäftigung und Wertschöpfung in der Holzverarbeitenden Industrie
in den wichtigsten Tropenländern**

	Jahr	Beschäftigte (in 1000)		(in % der Industrie) Ingesamt	Wertschöpfung (Mio. US-\$)		(in % der Industrie) Ingesamt
		Holz- bearbeitung	Möbel- herstellung		Holz- bearbeitung	Möbel- herstellung	
Elfenbeinküste ...	1983	3,9	— ¹⁾	8,0	47,1	— ¹⁾	5,1
Ghana	1983	13,7	1,0	25,2	118,6	6,7	7,8
Kamerun	1990	6,7	— ¹⁾	13,3	n. v.	n. v.	n. v.
Kongo	1988	3,3	— ¹⁾	26,5	9,4	— ¹⁾	11,4
Bolivien	1989	2,0	0,3	8,6	1,2	0,1	2,3
Brasilien	1988 ²⁾	216,0	170,0	6,7	1 220,3	1 103,9	3,0
Costa Rica	1990	4,1	4,9	7,5	20,9	20,5	4,5
Ecuador	1989	3,3	3,2	5,9	14,5	11,6	3,1
Guatemala	1988	3,5	2,2	5,8	10,3	5,0	1,8
Kolumbien	1988	7,1	8,6	3,3	53,5	40,1	1,2
Mexiko	1990 ³⁾	4,9	7,2	1,2	n. v.	n. v.	n. v.
Peru	1988	10,1	7,9	5,8	3,4	1,4	0,6
Venezuela	1990	7,0	12,3	4,1	36,2	64,8	0,8
Indonesien	1989	317,4	26,7	15,2	1 223,2	43,5	13,3
Malaysia	1989	74,2	13,6	12,7	466,8	53,5	6,8
Philippinen	1988	56,4	41,2	11,4	178,3	78,9	4,1
Thailand	1984	43,5	12,5	4,3	n. v.	n. v.	n. v.

¹⁾ Enthalten in Holzbearbeitung.

²⁾ Wertschöpfungsdaten für 1985.

³⁾ Wertschöpfungsdaten für 1986.

Quellen: UN 1992, ILO 1992, IMF 1992

lanz. Trotz des insgesamt relativ geringen Volumens war die Forst- und Holzwirtschaft im Jahr 1988 in Äquatorial Guinea mit 42,5 %, in Burma mit 30,0 % und in Liberia mit 21,6 % am Gesamtexport beteiligt. In den größten Exportnationen machte der Holzexport 12,3 % (Malaysia), 14,5 % (Indonesien) und 5,1 % (Brasilien) des Gesamtexportes aus. In den meisten Fällen liegt der Anteil am Gesamtexport unter 5 % (Amelung und Diehl 1992).

Den Anteil des Holzsektors an der gesamten Wertschöpfung in den wichtigsten Tropenländern verdeutlicht Tabelle 4.4. Er liegt in der Regel unterhalb von 5 %. Lediglich in Ghana, dem Kongo, Indonesien und

Malaysia übersteigt der Holzsektor diesen Wert zum Teil erheblich. Dabei treten zwischen diesen Ländern jedoch extreme Unterschiede hinsichtlich der absoluten Wertschöpfung auf.

Auch der Stellenwert der Forst- und Holzwirtschaft im Arbeitsmarkt schwankt innerhalb der Tropenländer erheblich (Tab. 4.4). In Ghana und im Kongo waren in den 80er Jahren rund ein Viertel der in der Industrie Beschäftigten im Holzsektor tätig. Hohe Anteile von über 10 % erreichten auch die großen Exportnationen Malaysia und Indonesien. In den meisten Tropenländern lag der Anteil der Arbeiter im Holzsektor unterhalb von 10 %.

Die wichtigsten Exportmärkte für Tropenhölzer liegen in den fernöstlichen Ländern. Wie Abbildung 4.3 zeigt, ist Japan mit einem Importvolumen von über 16 Mio. m³ Tropenholz der weltweit größte Abnehmer. Allein 11,2 Mio. m³ davon werden als unverarbeitetes Rundholz eingeführt. Wichtige Absatzmärkte in Ostasien sind zudem Südkorea mit 5,3 Mio. m³ und Taiwan mit 4,6 Mio. m³ Importvolumen. Auch hier überwiegt eindeutig die Einfuhr von Rundhölzern. Dagegen ist deren Anteil an den Tropenholzimporten in die USA verschwindend gering. Die im Jahr 1991 importierten 2,3 Mio. m³ Tropenholz wurden vor allem in Form von Furnierholz und höherwertigen Produkten insbesondere aus Südostasien und Lateinamerika eingeführt (Abb. 4.3).

Die Staaten der EG importierten 1991 etwa 8 Mio. m³ Tropenholz, davon rund 60 % als Schnittholz, Sperrholz und Furniere. Dies entspricht einer Rohholzmenge von rund 12 Mio. m³ (Tab. 4.5). Über die Hälfte der Importe stammten aus Afrika, von wo aus im wesentlichen Rundhölzer eingeführt wurden. Die verarbeiteten Holzprodukte stammen dagegen überwiegend aus Südostasien. Die Hauptabnehmer für Tropenholz innerhalb der EG sind Frankreich, Italien und das Vereinigte Königreich, auf die die Hälfte des gesamten Importvolumens von 8 Mio. m³ entfällt. Dabei führen Frankreich und Italien überwiegend Rundhölzer ein, während in das Vereinigte Königreich ganz überwiegend Schnittholz sowie Sperrholz und Furniere importiert werden.

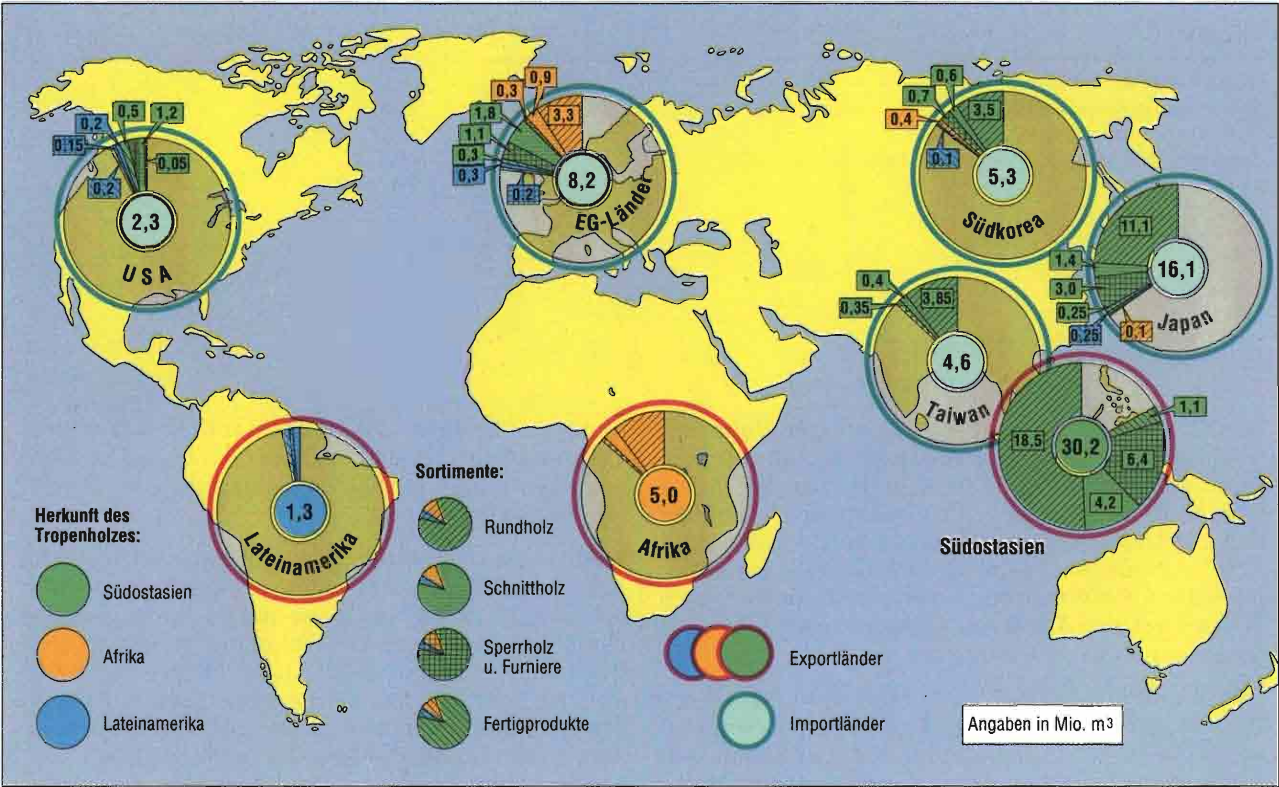


Abbildung 4.3: Mengen und Sortimentverteilung der Exportströme für Tropenholz im Jahr 1990 (in Mio. m³)
Quelle: Rice und Counsell 1993

Tabelle 4.5

Wichtige Käuferländer von Tropenholz und Tropenholzprodukten im Jahre 1991

Land	Rundholz	Schnittholz		Furniere		Sperrholz		Summe
	in Mio. m³							
	FM	FM	RHÄ	FM	RHÄ	FM	RHÄ	RHÄ
Ostasien	18,94	2,38	4,33	0,16	0,30	3,93	9,04	32,61
Japan	11,25	1,38	2,51	0,12	0,23	2,87	6,60	20,59
Südkorea ²⁾	3,85	0,59	1,07	0,01	0,02	0,74	1,70	6,64
Taiwan ²⁾	3,84	0,41	0,75	0,03	0,06	0,32	0,74	5,39
USA	0,02	0,27	0,50	0,02	0,04	1,32	3,04	3,6
EG	3,29	2,97	5,41	0,23	0,44	1,29	2,97	12,11
Belgien/Luxemburg	0,06	0,25	0,46	0,02	0,04	0,17	0,39	0,95
Dänemark	0,00	0,03	0,05	0,01	0,02	0,03	0,07	0,14
Bundesrepublik Deutschland	0,30	0,33	0,60	0,08	0,15	0,15	0,35	1,40
Frankreich	0,93	0,39	0,71	0,03	0,06	0,19	0,44	2,14
Griechenland	0,16	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
Irland	—	0,07	0,13	—	—	0,02	0,05	0,18
Italien	0,72	0,39	0,71	0,07	0,13	0,02	0,05	1,61
Niederlande	0,10	0,63	1,15	0,01	0,02	0,20	0,46	1,73
Portugal	0,48	0,05	0,09	0,00	0,00	—	—	0,57
Spanien	0,54	0,32	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	1,12
Vereinigtes Königreich .	0,05	0,49	0,89	0,01	0,02	0,51	1,17	2,13
Ostasien, USA und EG ...	22,25	5,63	10,25	0,41	0,78	6,54	15,04	48,32

¹⁾ Ohne Holzfertigprodukte, wie z. B. Türen, Fenster, Möbel etc.

²⁾ Wichtige Transithandelsländer

FM = Festmeter; RHÄ = Rohholzäquivalente

Umrechnungsfaktoren (nach ECE)

1 m³ Schnittholz = 1,82 m³ Rundholz

1 m³ Furniere = 1,90 m³ Rundholz

1 m³ Sperrholz = 2,30 m³ Rundholz

Quelle: Rice und Counsell 1993

Der Import von Tropenholz und Tropenholzprodukten in die Bundesrepublik Deutschland ist zwischen 1975 und 1991 relativ konstant geblieben. Er lag im Jahr 1991 bei knapp 1 Mio. m³. In den letzten 20 Jahren hat sich jedoch der Anteil an weiterverarbeiteten Holzprodukten und vor allem an Holzhalbwaren (Zellstoff

u. ä.) und Holzfertigwaren (z. B. Möbel) deutlich erhöht. Dadurch stieg die verwendete Rohholzmenge von 1,5 Mio. m³ im Jahr 1975 auf 2,2 Mio. m³ im Jahr 1992 an (vgl. Abb. 4.4). Dies entspricht etwa 1,5 % des Holzverbrauchs in Deutschland im Jahr 1992 (Ollmann 1993a).

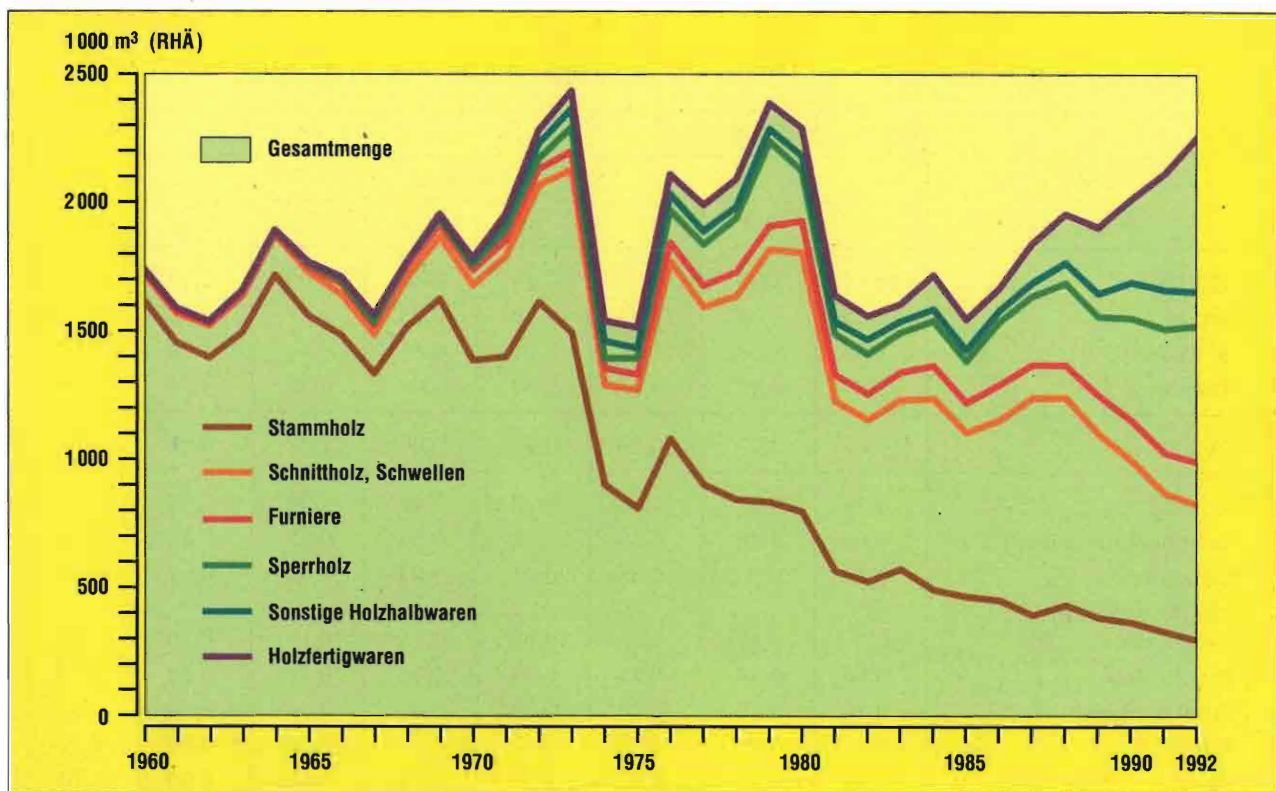


Abbildung 4.4: Tropenholzimporte der Bundesrepublik Deutschland (in Rohholzäquivalenten)

Quelle: Ollmann 1993b

4.3 Ausmaß der Vernichtung und Degradierung tropischer Wälder

Die Nutzungsansprüche und Einwirkungen des Menschen auf die tropischen Waldökosysteme sind — wie unter Punkt 4.4 weiter ausgeführt — vielfältig und variieren in den verschiedenen tropischen Ökozonen. Die Umwandlung von Primärwaldflächen in Nutzflächen (Landnutzungswandel) hinterläßt ein Mosaik aus landwirtschaftlichen Flächen, Wasserflächen, aufgelichteten Waldbeständen, isolierten Primärwaldflächen und Sukzessionsflächen, auf denen sich mehr oder weniger dichte Sekundärwälder ausbreiten. Zum Teil sind diese Flächen stark degradiert und nicht mehr nutzbar.

Die vom Landnutzungswandel betroffene Fläche ist weitaus größer als es die Daten über die Waldverluste widerspiegeln. Dabei ist zu unterscheiden zwischen entwaldeten, degradierten und verinselten Waldflächen. Unter Entwaldung wird entsprechend der FAO-Definition die Verringerung des von Baumkronen überschränkten Bodenanteils auf unter 10 % verstanden. Degradation beschreibt die Verringerung der Produktivität bzw. der Biomassendichte, die zu einer Auflichtung des Waldbestandes oberhalb eines zehnprozentigen Überschränkungsgrades führt. Unter Verinselung ist die Zerstückelung von Primärwäldern in isolierte kleinere Bestände, die von Rodungsflächen umgeben und durchsetzt sind, zu verstehen. Zwar sind diese Bestände strukturell unverändert, doch

weisen sie eine deutliche Verringerung der Artenzahl auf (Skole und Tucker 1993). Die Verinselung ist in der Regel eine Vorstufe der völligen Entwaldung. Ab welcher Größenordnung Waldstücke als verinselt betrachtet werden, ist nicht eindeutig festgelegt. Skole und Tucker (1993) bezeichnen bei ihrer Untersuchung für das Amazonasbecken alle Waldflächen unter 10 000 ha, die von entwaldeten Flächen umgeben sind, als verinselt. Die FAO (1993a) setzt dagegen keine maximale Größe fest, sondern spricht ab einem bestimmten Verhältnis von Umfang, Fläche und Anzahl der Waldstücke in einem Gebiet von Verinselung („Fragmentation“).

Das Ausmaß degradierter und verinselter Waldbestände kann bislang nur grob abgeschätzt werden. Eine stichprobenhafte Analyse des Landnutzungswandels in den 80er Jahren auf 72 Mio. ha Fläche im tropischen Afrika (davon 30 Mio. ha bewaldet) zeigte, daß zwischen 1981 und 1990 etwa 4 Mio. ha Waldflächen degradiert bzw. verinselt wurden. Dies entspricht in etwa der gleichen Größenordnung wie die gerodete Fläche. Für Lateinamerika und Asien wird geschätzt, daß das Ausmaß der Rodungen die Degradierung bzw. Verinselung übersteigt. Weltweit dürften laut FAO (1993a) zwischen 1981 und 1990 etwa 60 bis 70 Mio. ha Wald degradiert bzw. verinselt worden sein. Skole und Tucker (1993) ermitteln allein für das Amazonasbecken zwischen 1978 und 1988 einen Anstieg der verinselten Waldflächen von etwa 5 auf 16 Mio. ha. Gleichzeitig wuchs die Fläche der direkt

vom Menschen beeinflussten Waldränder von 12 auf 340 Mio. ha an. Dies wirkt sich insbesondere negativ auf die biologische Vielfalt der tropischen Ökosysteme aus. Eine Vielzahl von Tieren und Pflanzen sind nicht in der Lage, unter den veränderten Bedingungen in den Waldrandzonen bzw. in den zu klein gewordenen Waldstücken zu überleben. Die tatsächliche Entwaldungsrate im Amazonasbecken wird für den Zeitraum 1978 bis 1988 von Skole und Tucker (1993) dagegen mit rund 1,5 Mio. ha pro Jahr relativ niedrig eingeschätzt. Andere Erhebungen ermittelten für die späten 80er Jahre zwischen 5 und 8 Mio. ha pro Jahr (Myers 1991, WRI 1990). Mögliche Gründe für diese erheblichen Abweichungen sind die unterschiedlichen Aufnahmeverfahren und -zeitpunkte. Zudem haben Skole und Tucker im Unterschied zu den anderen Arbeiten Cerradoflächen nicht mit in ihre Analyse einbezogen.

Laut FAO (1993a) sind weltweit zwischen 1981 und 1990 rund 154 Mio. ha Tropenwald vernichtet worden. Die Gesamtfläche verringerte sich dadurch von 1 910 Mio. ha auf 1 756 Mio. ha. Rund 920 Mio. ha davon befinden sich in Lateinamerika und der Karibik, 310 Mio. im tropischen Asien und etwa 530 Mio. ha im tropischen Afrika. Die Vernichtungsrate erhöhte sich seit den 70er Jahren von jährlich knapp 7 Mio. ha auf etwa 17 Mio. ha Ende der 80er Jahre. Im

Mittel wurden im letzten Jahrzehnt jährlich 15,4 Mio. ha Tropenwald vernichtet.

In Abbildung 4.5 sind die jährlichen Waldvernichtungsraten in den Tropenländern, in Tabelle 4.6 die regionalen Waldverluste in den verschiedenen tropischen Waldtypen wiedergegeben. Sie verdeutlichen, daß die Wälder in Südostasien sowie Mittelamerika (inkl. Mexiko) mit einer jährlichen Bestandsverminderung von 1,6 bzw. 1,5 % besonders stark gefährdet sind. Die absoluten Waldverluste lagen in Lateinamerika und der Karibik mit 7,4 Mio. ha pro Jahr am höchsten. In Afrika betrug die Rate 4,1 Mio. ha, in Südostasien 3,9 Mio. ha pro Jahr.

Das Ausmaß der Waldvernichtung differiert in den verschiedenen tropischen Ökozonen. So sind in der immerfeuchten Tieflandzone mit einer Gesamtwaldfläche von 718 Mio. ha noch etwa drei Viertel der Fläche bewaldet, von denen pro Jahr 0,6 % (4,6 Mio. ha) entwaldet werden. Fast die Hälfte der Rodungen finden in Asien statt, wo die jährliche Vernichtungsrate bei 1,2 % liegt. In Lateinamerika (0,4 % bzw. 1,9 Mio. ha) und Afrika (0,5 % bzw. 0,5 Mio. ha) liegt die Entwaldungsrate deutlich niedriger.

Im Bereich der regengrünen Wälder ist die Gesamtfläche von rund 1 300 Mio. ha noch zu 46 % bewaldet. Die Verlustrate lag hier im vergangenen Jahrzehnt bei

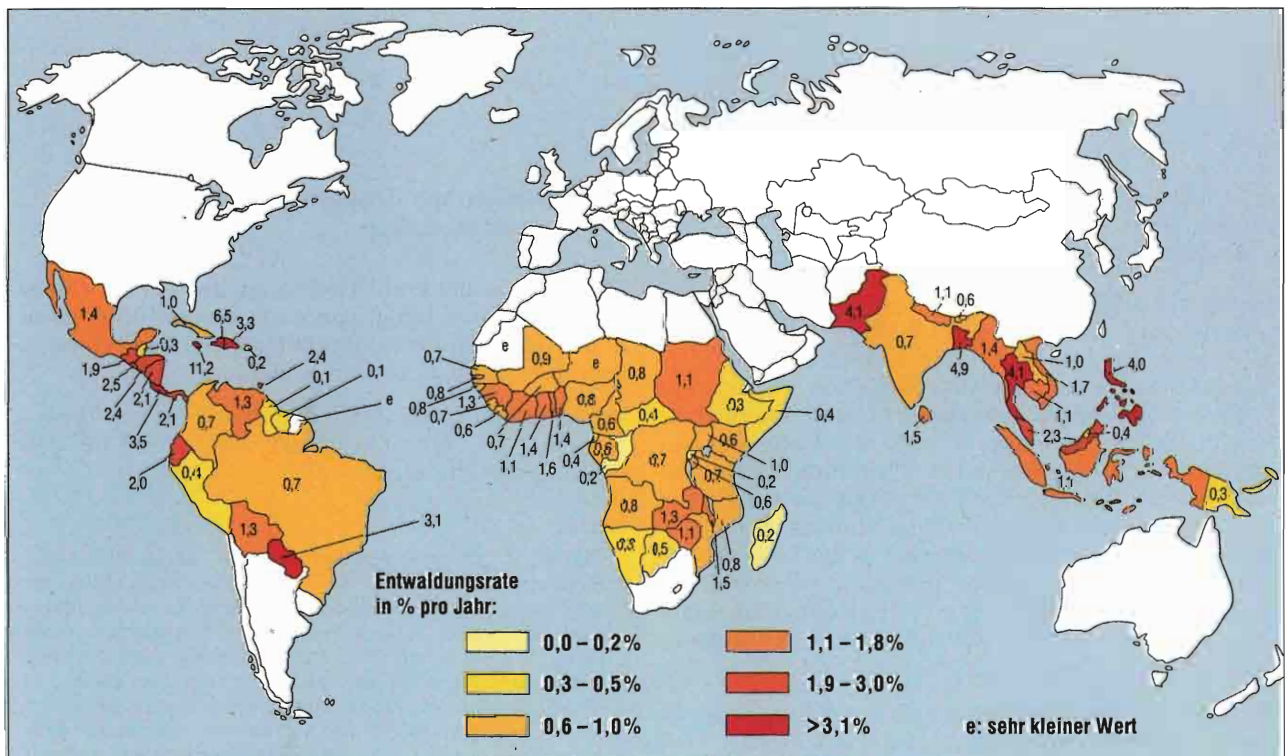


Abbildung 4.5: Ausmaß der jährlichen Waldvernichtung in den einzelnen Tropenländern im Zeitraum 1981 bis 1990

Quelle: FAO 1993a

Tabelle 4.6

Waldflächenverluste und Entwaldungsraten in der tropischen Zone

Region	Immergrüne Regenwälder		Regengrüne Feuchtwälder		Regengrüne Trockenwälder		Trockenwälder		Gebirgs-wälder		Summe	
	1000 ha	%	1000 ha	%	1000 ha	%	1000 ha	%	1000 ha	%	1000 ha	%
Westliche Sahelzone ..	0,0	—	135,8	0,94	91,0	0,70	68,5	0,52	0,0	—	295,3	0,72
Östliche Sahelzone ...	0,0	—	227,1	1,67	181,6	0,92	98,4	0,53	84,8	0,66	591,9	0,90
Westafrika	18,1	0,56	543,7	1,12	23,1	0,89	1,6	0,20	4,9	1,05	591,4	1,06
Zentralafrika	425,6	0,54	618,7	0,54	8,8	0,58	0,2	0,23	86,1	0,85	1 139,4	0,56
Trop. Südliches Afrika	27,4	0,61	721,1	1,18	463,0	0,83	147,8	0,57	110,9	0,93	1 470,2	0,91
Afrika	471,1	0,54	2 246,0	0,89	767,5	0,83	316,5	0,54	288,9	0,82	4 088,2	0,77
Südasien	88,4	0,90	61,8	0,68	229,7	0,81	1,5	4,05	140,4	0,94	521,8	0,81
Südostasien (Kontinent)	418,0	1,76	502,9	1,85	236,0	1,75	0,0	—	156,4	1,45	1 313,3	1,75
Südostasien (Inseln) ...	1 655,7	1,15	91,8	1,67	2,0	0,41	0,0	—	287,2	1,34	2 036,7	1,19
Asien	2 162,1	1,22	656,5	1,57	467,7	1,14	1,5	4,05	583,7	1,24	3 871,8	1,25
Zentralamerika	240,3	1,93	247,3	1,88	29,5	1,86	16,3	2,15	544,0	1,42	1 077,5	1,58
Karibik	58,8	0,16	41,6	0,49	1,2	2,45	0,0	—	23,2	0,81	124,8	0,26
Südamerika	1 639,1	0,40	2 899,4	1,07	567,5	1,31	7,4	2,62	1 055,3	1,31	6 168,7	0,77
Amerika	1 938,1	0,43	3 188,3	1,08	598,3	1,33	23,7	2,27	1 622,5	1,33	7 371,0	0,80
Summe	4 571,3	0,64	6 090,8	1,04	1 833,5	1,03	341,7	0,57	2 495,1	1,22	15 331,0	0,87

Quelle: FAO 1993a

1 % bzw. 6,1 Mio. ha pro Jahr. Auch hier wiesen die Tropenländer in Asien, vor allem im kontinentalen Südostasien, die höchsten Raten auf.

In der tropischen Trockenzone sind nur noch 19 % der Fläche von 1 241 Mio. ha mit Wäldern bestockt. Fast die Hälfte der Trockenwälder entfällt auf das tropische Afrika (Sahelzone und südliches Afrika). Mit einer Bevölkerungsdichte von 70 Einwohnern pro km² sind diese Regionen die am dichtesten besiedelten in den Tropen. Zwar treten hier auch natürlich waldfreie Gebiete auf, doch ist der größte Teil der waldfreien Flächen auf anthropogene Einwirkungen zurückzuführen. Jährlich verschwinden 0,9 % der Trockenwälder, die Hälfte davon in Afrika, vornehmlich im südlichen Teil. Die prozentuale Vernichtungsrate liegt in Asien mit 0,9 % etwas höher als in den anderen tropischen Kontinenten.

Auch die Gebirgsregionen sind in den Tropen weitgehend entwaldet. Nur noch 29 % der Fläche (204 Mio. ha) tragen Wälder. Mit 1,1 % liegt hier zudem die jährliche Waldverlustrate im Vergleich zu den anderen tropischen Waldökosystemen am höchsten.

4.4 Ursachen der Tropenwaldvernichtung und -degradation

Die Vernichtung und Degradation der Tropenwälder wird durch eine Reihe von miteinander verknüpften Einflußfaktoren hervorgerufen, die von Land zu Land variieren. Dazu zählen im einzelnen:

- der kleinbäuerliche Wanderfeldbau zur Erzeugung von Nahrungsmitteln vorwiegend für den eigenen Gebrauch²⁾

²⁾ Hierbei ist zu unterscheiden zwischen der traditionellen Shifting Cultivation der im Wald lebenden Völker, die ursprünglich eine ökologische angepaßte Art der Landnutzung war und erst durch den Bevölkerungsdruck und die dadurch reduzierten Regenerationszeiten zum Problem wurde, und der sogenannten Shifted Cultivation der neu in die Waldgebiete eingewanderten Kleinbauern. Diese auf Armut, existentieller Not und Unkenntnis basierende Landnutzungsform führt meist zur Bodendegradation und zur Aufgabe der ackerbaulichen Nutzung. Auf den degradierten Standorten ist die Wiederbewaldung nur stark eingeschränkt möglich.

- die agroindustrielle Landnutzung zur Erzeugung für den Export bestimmter cash-crops wie Futtermittel (Soja, Mais) und Produkten aus Dauerkulturen (Kaffee, Kakao, Palmöl, Plantagenkautschuk),
- die extensive Viehwirtschaft,
- die Brennholzgewinnung,
- der Nutzholzeinschlag,
- die Rodung zur Nutzung energetischer und mineralischer Ressourcen (Erzbergbau, Stauseen) mit den notwendigen Infrastrukturmaßnahmen.

Bei dieser Auflistung muß betont werden, daß es sich hierbei weniger um Ursachen als um Formen der Waldzerstörung handelt. Es sind Symptome eines nicht an die ökologischen, sozialen und kulturellen Bedingungen angepaßten Entwicklungsprozesses. Eine der wichtigsten Einflußgrößen ist das hohe Bevölkerungswachstum in den meisten Tropenländern. Dazu kommt die Armut weiter Bevölkerungskreise, die zum Beispiel mit Mangel an Nahrung, Bildung, Gesundheitsfürsorge und sozialer Absicherung verbunden ist, sowie eine oftmals ungerechte Landverteilung. Darüber hinaus sind die weltwirtschaftlichen Rahmenbedingungen und die Verschuldungsprobleme vieler Länder weitere indirekte Ursachen der Tropenwaldvernichtung. Diese Rahmenbedingungen hat die Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ in ihrem zweiten Bericht ausführlich beschrieben (EK 1990a). Sie sollen hier nicht vertiefend behandelt werden.

In welchem Maße die einzelnen Nutzungen für die Tropenwaldvernichtung verantwortlich sind, ist in den Tabellen 4.7 a und b wiedergegeben. Dabei muß beachtet werden, daß die Aussagen nur großräumig gelten. Regionalspezifische Analysen sind aufgrund der mangelnden Datenlage schwierig. Zudem sind die Ursachen meist miteinander verknüpft und nur schwer voneinander zu trennen. Ein weiteres Problem ist, daß nur die Entwaldung, nicht jedoch die Walddegradation betrachtet wird. Aus diesem Grund sind in Tabelle 4.7 b die verschiedenen Ursachen für die Biomassevernichtung in tropischen Wäldern zusammengetragen. Die Aussagen der Tabellen sollen im folgenden näher erläutert werden.

Die Vernichtung der tropischen Wälder ist vor allem auf den steigenden Bedarf an landwirtschaftlichen Nutzflächen zurückzuführen. Dieser wiederum ist das Resultat des hohen Bevölkerungswachstums in den meisten Tropenländern, der häufig ungerechten Landbesitzverteilung sowie des Verlustes von Ackerflächen durch Versalzung, Erosion u. a. infolge unangepaßter Nutzung.

Diehl und Amelung (1992) schätzen auf der Grundlage offizieller Forststatistiken, daß im Zeitraum 1981 bis 1990 zwischen 86 und 94 % der Waldvernichtung in den immerfeuchten Tropen auf die Ausweitung der Landwirtschaft zurückzuführen sind. Dabei teilt sich dieser Anteil zu etwa gleichen Teilen auf den Wanderfeldbau („Shifting Cultivation“) und die seßhafte Landwirtschaft (Weideland, Dauerkulturen und Ackerland) auf. Laut FAO (1993a) sind etwa 65 % der

Rodungen auf die seßhaft betriebene Landwirtschaft zurückzuführen, während etwa 35 % innerhalb des traditionellen Wanderfeldbaus erfolgten. Regional treten jedoch erhebliche Differenzen auf. So war zum Beispiel in Brasilien die steuerlich begünstigte Ausweitung der Weideflächen zu mindestens 40 % für die Regenwaldrodung verantwortlich, während diese Form in Asien und Afrika praktisch keine Bedeutung hatte. Fearnside u. a. (1990) gehen sogar davon aus, daß über die Hälfte der Tropenwaldrodungen in Amazonien auf die Anlage von äußerst extensiv bewirtschafteten Viehweiden zurückzuführen ist. Die Streichung der Steuerbegünstigungen durch die brasilianische Regierung hat seit Ende der 80er Jahre auch in Brasilien die Ausweitung der Weideflächen zu Lasten des Tropenwaldes vermindert. In Afrika spielte der Wanderfeldbau mit über 50 % der Rodungen eine weitaus gewichtigere Rolle als in Südamerika.

Der Anteil der direkt durch die industrielle Erschließung und den Bau von Staudämmen verursachten Regenwaldverluste wird auf etwa 2 % geschätzt. Dabei ist nicht berücksichtigt, daß derartige Erschließungen oftmals großflächige Rodungen nach sich ziehen. So ruft zum Beispiel die Errichtung von industriellen Anlagen Rodungen zur Schaffung von Siedlungsraum und zum Bau von Straßen sowie häufig eine große Nachfrage nach Holzkohle hervor. In der Regel führt dies zu weiteren großflächigen Waldvernichtungen, die als „sonstige Faktoren“ etwa 2 % der Entwaldung verursachen (Tab. 4.7a). Derartige Infrastrukturmaßnahmen werden häufig im angestammten Lebensraum von Naturvölkern errichtet, die dadurch ihre Lebensgrundlage verlieren. Auffallend sind die erheblichen regionalen Unterschiede. So werden in Brasilien etwa 7 % der Waldvernichtung in den 80er Jahren auf die industrielle Erschließung, den Straßenbau und den Abbau von Bodenschätzen zurückgeführt, während dies in Kamerun keine Rolle spielte.

Ähnliches gilt für die Holzwirtschaft, die nach Ameilung und Diehl (1992) für etwa 2 bis 10 % der Rodungen in den immerfeuchten Tropen direkt verantwortlich ist. Dieser Wert drückt jedoch nicht die tatsächlich durch kommerziellen Einschlag verursachten Waldschädigungen aus, weil die holzwirtschaftliche Nutzung in der Regel die Voraussetzung für eine spätere Brandrodung ist. Eine Verringerung des Einschlags in Primärwäldern könnte demnach die Brandrodungstätigkeit der Kleinbauern beschränken. Zum anderen umfaßt dieser Wert nur Kahlschläge. Diese machen in den Tropen jedoch nur einen geringen Teil aus. Der weitaus größte Teil des Nutzholzeinschlags erfolgt selektiv und führt in der Regel nicht zur Entwaldung. In der Regel werden in tropischen Wäldern nur die marktgängigen Holzarten eingeschlagen. Die Anzahl der Stämme ist dabei von der Artenzusammensetzung des Waldes, der Holzqualität und der Transportentfernung abhängig. In den relativ schwer zugänglichen und durch geringe Holzqualität gekennzeichneten Regenwäldern Lateinamerikas werden pro eingeschlagenem Hektar im Durchschnitt lediglich 8 m³ Holz entnommen. Im tropischen Afrika liegt dieser Wert bei 13 m³ und in den hochwertigen Wäldern Südostasiens bei 33 m³ (FAO 1993a).

Tabelle 4.7a und b

Ursachen für die Regenwaldvernichtung und -degradation in tropischen Ländern
1981 bis 1990 (in Prozent)

a) Ursachen der Entwaldung ¹⁾

	Brasilien	Indonesien	Kamerun	Alle wichtigen Tropenwaldländer
Holzwirtschaft	2	9	0	2—10 ²⁾
Landwirtschaft	91	90	100	86—94
Wanderfeldbau	15	59	79	41—49
Selbsthafte Landwirtschaft	76	31	21	45
davon: Weidewirtschaft	40	0	0	24
Dauerkulturen	4	3	3	3
Ackerbau	32	28	18	18
Abbau von Bodenschätzen inklusive vor- und nachgelagerter Industrien ...	3	0	0	1
Bau von Stauseen	2	0	0	1
Sonstige Ursachen ³⁾	2	1	0	2

¹⁾ Die Daten beziehen sich auf die Vernichtung geschlossener Wälder; die Auflichtung und Degradation von Wäldern ist nicht berücksichtigt.
²⁾ Der höhere Wert umfaßt auch die durch die Holzwirtschaft verursachten Biomasseverluste.
³⁾ Straßenbau und vom Bergbau unabhängige Industrien.

b) Ursachen der Biomassevernichtung (Degradation)

	Anteil an der Biomassevernichtung				Anteil an Erschließung von Primärwäldern			
	Brasilien	Indonesien	Kamerun	Gesamt ¹⁾	Brasilien	Indonesien	Kamerun	Gesamt ¹⁾
Holzwirtschaft	6	44	10	10	(100) ²⁾	(100) ²⁾	98	71
Landwirtschaft	87	55	90	85	0	0	2	26
Sonstige	7	1	0	4	0	0	0	4

¹⁾ Umfaßt alle wichtigen Tropenwaldländer.
²⁾ Nach den FAO-Statistiken findet Brandrodung praktisch ausschließlich in zuvor von der Holzwirtschaft erschlossenen bzw. eingeschlagenen Wäldern statt.
Quelle: Amelung und Diehl 1992

Die geringe Entnahmemenge ist jedoch keineswegs gleichbedeutend mit einer umweltschonenden, nachhaltigen Bewirtschaftungsform. Bei einer selektiven Nutzung von ein bis zwei Stämmen pro Hektar und einer sorgfältigen Vorgehensweise werden etwa 10 % der Waldfläche durch die Anlage der notwendigen Infrastruktur bzw. Schäden beim Fällen und Rücken der Stämme geschädigt. In der Regel liegen die Schädigungen jedoch weit höher. Laut FAO (1989) werden im Durchschnitt etwa 30 bis 40 % der genutzten Fläche bei selektivem Einschlag geschädigt. In einigen Fällen erreicht dieser Wert 70 %. Gerade derart erschlossene und aufgelichtete Wälder sind

besonders interessant für nachfolgende Siedler und werden häufig völlig gerodet (Siegert u. a. 1993). Zudem vermindert der Einschlag die Zahl der Arten und die genetische Vielfalt in den Wäldern, beeinträchtigt das Regenerationsvermögen der Vegetation sowie die Böden und erhöht die Erosionsgefahr. Er ist damit ein wesentlicher Faktor der Waldvernichtung und -degradation in den Tropen.

Um den Beitrag des Holzeinschlages zur Vernichtung und Degradation der tropischen Wälder zu erfassen, ist es notwendig, die Menge der entnommenen und vernichteten Biomasse abzuschätzen. Amelung und

Diehl (1992) ermittelten dabei in Anlehnung an die Aussagen der Enquete-Kommission, daß der Holzeinschlag insgesamt für etwa 10 % der Biomassevernichtung in den tropischen Feuchtwäldern verantwortlich ist (Tab. 4.7b). Dabei treten erhebliche regionale Schwankungen auf. So lag der Anteil in den 80er Jahren in Afrika und Lateinamerika zwischen 6 und 7 %, während in Asien der Holzeinschlag über 30 % der Biomassevernichtung, in Indonesien knapp 45 % verursachte. Für Malaysia und Papua-Neuguinea ermittelten Diehl und Amelung (1992) Werte um 50 %.

Neben der Art des Einschlags ist auch die Vergabe von Einschlaglizenzen an die Holzunternehmen für die Waldschäden bedeutsam. Detaillierte Auflagen zur Vermeidung von Fäll- und Rückeschäden sind ebenso wie Wiederaufforstungs- und waldbauliche Pflegemaßnahmen nicht die Regel. Zudem sind die Laufzeiten der Konzessionen in der Regel kürzer als 25 Jahre, nicht selten weniger als 10 Jahre. Dadurch lohnen sich ein pfleglicher Umgang und Wiederaufforstungsmaßnahmen für die Holzbetriebe nicht (BFH 1993a). Ferner stellen die völlig unzureichenden Kontrollmöglichkeiten der staatlichen Stellen einen Grund für die unpfleghche Nutzung dar. Die Vergabe von Holzkonzessionen in unberührten Primärwaldgebieten ist häufig gebunden an den Aufbau von Holzverarbeitenden Betrieben. Da dies mit zum Teil erheblichem Kapitalbedarf einhergeht, werden in einigen Ländern, vor allem in Afrika, Holzkonzessionen an ausländische Investoren vergeben. So halten zum Beispiel die inländischen Unternehmen in Kamerun nur 23 von 150 vergebenen Einschlagskonzessionen. Insgesamt sind Unternehmen aus den EG-Staaten allein an etwa 130 afrikanischen Holzunternehmen beteiligt und dürften für über 90 % des Einschlag verantwortlich sein (Rice und Counsell 1993).

Neben den in Tabelle 4.7 aufgeführten Waldschädigungsformen spielt die Deckung des Brennholzbedarfs in vielen Ländern der Tropen eine wesentliche Rolle. Weltweit werden 14 % der Primärenergie durch die Nutzung von Biomasse (Holz u. a. pflanzliche Stoffe sowie tierische Ausscheidungen) abgedeckt, ein großer Teil davon durch Brennholz. In einigen tropischen Ländern beträgt der Brennholzanteil am Energieverbrauch mehr als 90 % (z. B. Burkina Faso, Tansania, Malawi, Nepal). Zusammen mit dem erheblichen Bevölkerungswachstum sowie dem immensen Holzbedarf der rasch anwachsenden Städte ist in vielen Regionen eine Übernutzung der Holzreserven zu beobachten. Etwa 1,3 Mrd. Menschen können bereits heute nicht in ausreichendem Maße über Brennholz verfügen, der größte Teil davon mit etwa 800 Mio. in Asien. Diese Zahl steigt nach Prognosen der FAO bis zur Jahrtausendwende auf möglicherweise 2,7 Mrd. Menschen an. Besonders betroffen von der Brennholzkrise sind die Länder im Randbereich der feuchten bzw. in den wechselfeuchten und trockenen Tropen (Indien, Nepal, Bangladesh, die Sahelstaaten, Ostafrika, Nordostbrasilien und Teile der Andenstaaten). Hier wirkt sich die Brennholzgewinnung auch am stärksten auf die Waldbestände aus. In den feuchten Tropen spielt der Brennholzeinschlag dagegen praktisch nur in der Nähe der großen Städte eine Rolle bei der Waldvernichtung.

4.5 Folgen der Tropenwaldvernichtung

Mit der fortschreitenden Vernichtung der tropischen Wälder geht eine Vielzahl gravierender Folgewirkungen einher. Von diesen sind in erster Linie die Tropenländer selbst betroffen. Einige der Folgewirkungen sind direkt klimarelevant, wie etwa die Emission von Spurengasen. Diese sollen im Zentrum der folgenden Ausführungen stehen. Darüber hinaus tritt eine Reihe von indirekt klimarelevanten Folgen auf. So führt beispielsweise die durch nicht angepaßte Nutzung hervorgerufene Degradation tropischer Standorte zur Rodung immer neuer Flächen. Daher sollen auch diese Folgewirkungen behandelt werden. Mit der Vernichtung von tropischen Wäldern sind in der Regel zudem gravierende soziale Probleme verbunden. So führt die zunehmende Erschließung und Nutzung der Wälder in den Tropen durch die Industriegesellschaften zu einer Verdrängung oder gar zum Aussterben von Naturvölkern, die zum Teil seit Jahrtausenden in und von den Wäldern gelebt haben. Ihre Besitz- und Verfügungsrechte werden in vielen Fällen nicht anerkannt oder nicht hinreichend geschützt, so daß sie in Streitfällen zumeist unterliegen.

4.5.1 Auswirkungen auf das regionale und globale Klima

Die Vernichtung und Degradation von tropischen Wäldern verändert das regionale und globale Klima. Dabei ist zu unterscheiden zwischen der Veränderung der Strahlungsbilanz und den Veränderungen im Stoff- und Wasserkreislauf.

Die Vernichtung der tropischen Wälder führt jährlich zu einer Freisetzung von $1,6 \pm 1,0$ Mrd. tC und ist damit nach der Verbrennung fossiler Energieträger die wichtigste anthropogene Kohlenstoffquelle. Dabei wird der geringere Teil (etwa ein Drittel der in der oberirdischen Biomasse gespeicherten Kohlenstoffmenge) unmittelbar durch das Abbrennen freigesetzt. Fast zwei Drittel der Kohlenstoffemission erfolgt erst in der Zeit nach dem Brand durch den mikrobiellen Abbau der organischen Substanz.

Zu Kohlenstofffreisetzungen führen auch Savannenbrände. Diese sind überwiegend anthropogen hervorgerufen und tragen zur Degradation der Vegetation und damit zur Netto-Freisetzung von Kohlenstoff bei. Das Abbrennen geschieht vor allem im Rahmen der traditionellen Viehwirtschaft. Es fördert das Nachwachsen von jungen, höherwertigen Futtergräsern. Neben den Bränden führen auch der Brenn- und Nutzholzeinschlag sowie die Trockenlegung von Sümpfen und Mooren direkt zur Emission von Kohlenstoff.

Diesen Quellen stehen als Speicher die auf gerodeten Flächen nachwachsende Biomasse, beim Brand entstehende Holzkohle sowie die in langlebigen Holzprodukten gespeicherten Kohlenstoffmengen gegenüber. Ein aufgrund des erhöhten CO₂-Gehaltes der Atmosphäre hervorgerufener Düngeneffekt ist dagegen unwahrscheinlich (vgl. Kap 5).

Die Erstellung einer genauen Kohlenstoffbilanz ist aufgrund der Komplexität des Kohlenstoffhaushaltes und der unzureichenden Datenlage nach wie vor mit großen Unsicherheiten behaftet (vgl. Kap. 6). So fehlen bislang weitgehend Angaben über die in langlebigen Holzprodukten gespeicherten Kohlenstoffmengen und die durch Degradation hervorgerufene Kohlenstofffreisetzung. Zudem ist es schwierig, die von der Folgenutzung ehemaliger Waldflächen wesentlich bestimmten Kohlenstoffverluste abzuschätzen. Wächst auf der gerodeten Fläche ein Sekundärwald — etwa im Rahmen des traditionellen Wanderfeldbaus —, sind die Kohlenstoffverluste relativ gering. Dagegen nehmen Weiden und Ackerflächen nur relativ wenig der freigesetzten Kohlenstoffmenge wieder auf. Auch im Boden geht bei einer Umwandlung von Wald in Weide 20 % des Kohlenstoffs, bei der Umwandlung in permanente Ackerfläche sogar etwa 40 % verloren.

Durch Brandrodung sowie das Abbrennen von Savannen und Ernterückständen werden zudem Stickoxide freigesetzt, die zur Entstehung erhöhter Ozonkonzentrationen in der Troposphäre führen und damit zum anthropogenen Treibhauseffekt beitragen. Es wird geschätzt, daß das Verhältnis von Kohlendioxid- zu Stickoxidemission bei der Verbrennung von Biomasse in etwa 500 : 1 beträgt. Demnach dürften etwa 10 Mio. t Stickoxide durch die Tropenwaldvernichtung freigesetzt werden. Dies führt während der Trockenzeit regional zu erhöhten Ozonkonzentrationen. Bis zu 36 Dobson-Einheiten Ozon in der Troposphäre wurden über dem Atlantik zwischen Afrika und Südamerika in der Abgasfahne der Biomasseverbrennung im südlichen Afrika beobachtet. Das sind etwa 10 % der Gesamt ozonsäulendichte über den Tropen.

Die Entwaldung verändert die Rückstrahlung von der Erdoberfläche und damit den Strahlungshaushalt. Die Umwandlung von tropischen Primärwäldern in Sekundärwald oder Weide führt zu einer Erhöhung der Rückstrahlung. Nach der Umwandlung in eine Weide steigt sie von etwa 12 auf 18 bis 22 %. Dies wirkt lokal der Treibhauswirkung der bei Waldvernichtung emittierten Spurengase entgegen.

Die Strahlungsbilanz wird darüber hinaus mittelbar durch die Veränderung des Wasserkreislaufes beeinflusst. Über gerodeten Flächen nimmt die Verdunstung und damit der Wasserdampfgehalt der Luft ab. Dies hat Rückwirkungen auf die Wolkenbedeckung und damit auf die Strahlungsbilanz. Es ist bisher jedoch noch nicht hinreichend geklärt, ob sich dies auch auf das globale Klima auswirkt.

Gravierender ist die Wirkung der Entwaldung in den Tropen für das regionale Klima. In den Tropen werden 80 % der Energie der Sonnenstrahlung für die Verdunstung von Wasserdampf verbraucht und nur 20 % für die direkte Erhöhung der Temperatur. Eine Veränderung der Verdunstungsrate hat dementsprechend einen großen Einfluß auf den Energiehaushalt der Tropen. Die oben skizzierten Veränderungen der Strahlungsbilanz durch veränderte Rückstrahlung und Wolkenbedeckung können daher zu einer Abschwächung der tropischen Zirkulation und damit zu einer weiteren Verringerung der Niederschläge

führen. Derartige Veränderungen beeinflussen den restlichen Waldbestand in den Tropen. Dies gilt vor allem für das Amazonas-Orinoko-Becken, in dem die Verdunstung der Wälder maßgeblich für die Entstehung von Niederschlag verantwortlich ist und die Entwaldung sich am stärksten auf den Wasserdampfgehalt der Luft auswirkt.

4.5.2 Ökologische Folgen

Die Vernichtung von Wäldern hat immer weitreichende ökologische Folgen. Dies gilt insbesondere für die einzigartig artenreichen und sensiblen Waldökosysteme der Tropen. In Abbildung 4.5 sind die ökologischen Folgen des Zusammenbruchs des Ökosystems Tropenwald dargestellt. Sie sollen im folgenden erläutert werden.

4.5.2.1 Artenverluste

Wie unter 4.1.1 geschildert, sind die tropischen Wälder, insbesondere im immerfeuchten Bereich, durch eine einzigartig hohe Artenzahl, in der Regel geringe Individuenzahl innerhalb einer Population und einen hohen Grad an Endemismus gekennzeichnet. Die Vernichtung und Degradation dieser Wälder führt daher zwangsläufig zum Verlust einer Vielzahl von Arten. Dabei ist zu unterscheiden zwischen der Verdrängung von Arten und dem Aussterben. Eine Inanspruchnahme eines Primärwaldes durch den Menschen kann zum Beispiel dazu führen, daß einige mobile Arten aus diesem Wald in entlegenere Gebiete verdrängt werden. Dies ist jedoch nur relativ wenigen Arten möglich. In der Regel stirbt je nach Ausmaß der Beeinträchtigung eine mehr oder weniger große Zahl von Arten aus. Dies liegt unter anderem darin begründet, daß viele Pflanzen und Tiere endemisch, das heißt nur in einem einzigen Raum, vorkommen.

Die Artenvernichtung ist auf verschiedene Mechanismen zurückzuführen. Dabei kann unterschieden werden zwischen

- dem flächendeckenden Auslöschen von Populationen durch die Vernichtung von Lebensräumen und Lebensgrundlagen
- der Verinselung von Lebensräumen
- der Dezimierung und damit langfristigen genetischen Verarmung von Populationen.

Zum Artensterben trägt nicht nur die großflächige Rodung von Wäldern bei, sondern auch geringere Beeinträchtigungen, wie zum Beispiel der selektive Holzeinschlag. Dieser konzentriert sich in der Regel auf wenige, wirtschaftlich interessante Baumarten und kann so, selbst bei schonender Durchführung, zum Verschwinden einzelner Baumarten und damit der in und von ihnen lebenden Tier- und Pflanzenarten auf lokaler und regionaler Ebene führen. So nahm zum Beispiel in Westmalaysia in einem selektiv eingeschlagenen immergrünen Feuchtwald die Zahl der Vogelarten im oberen Kronenbereich um 18 %, die Zahl der insektenfressenden Bodentiere um über 60 % und der fruchtfressenden Bodentiere sogar um 80 % ab.

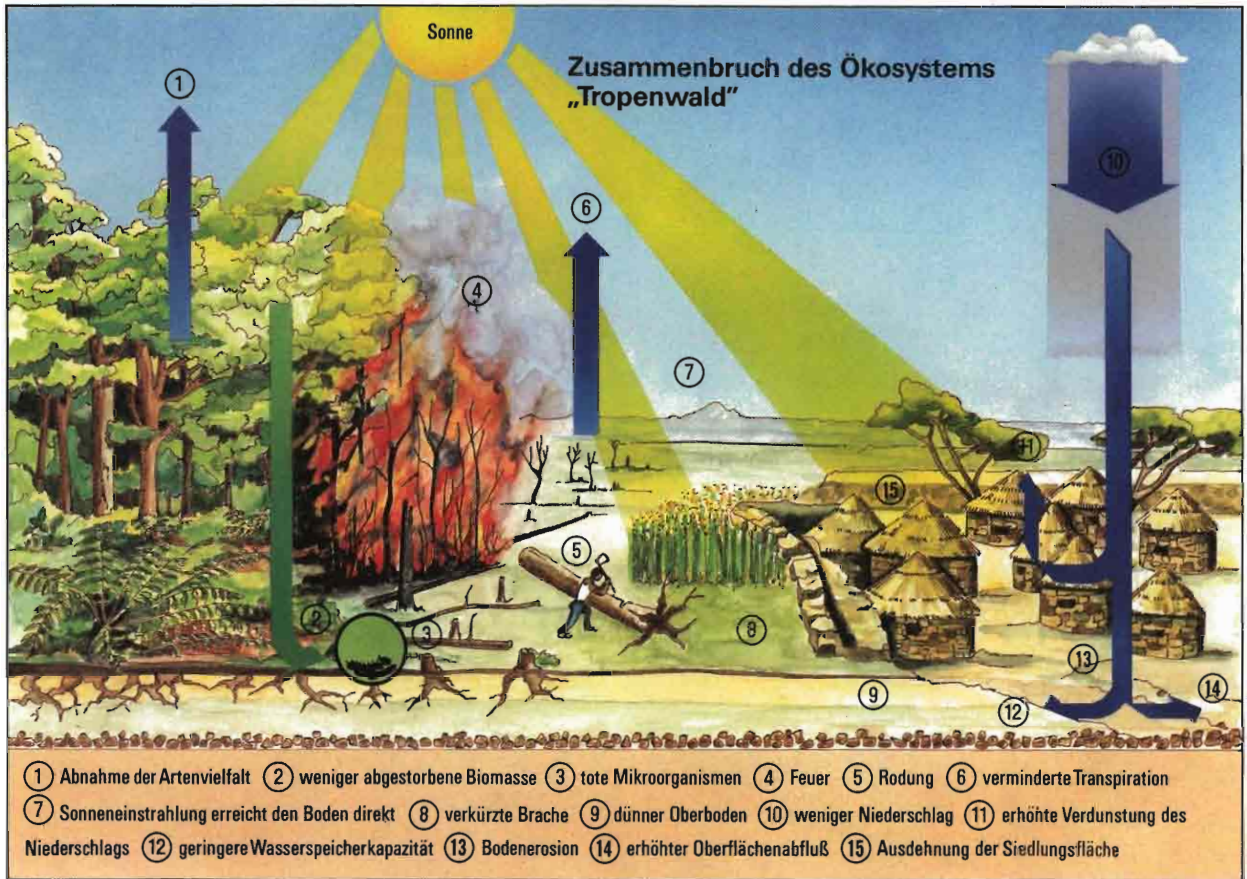


Abbildung 4.6: Zusammenbruch des Ökosystems Tropenwald
Quelle: EK 1990a

Die Quantifizierung des gesamten durch die Vernichtung der Tropenwälder hervorgerufenen Artenverlusts ist bislang nur mit großen Unsicherheiten möglich, da die Zahl der in den Wäldern beheimateten Arten nicht genau bekannt ist. Schätzungen zufolge werden bis zum Jahr 2000 zwischen 20 und 50 % bzw. 500 000 und mehreren Mio. Arten aussterben. Unbestritten ist jedoch, daß sich der Artenrückgang innerhalb der vergangenen Jahrzehnte erheblich verstärkt hat. Myers (1989) ging für die 70er Jahre davon aus, daß pro Tag eine Art ausgestorben ist. Durch die Ausweitung der Tropenwaldvernichtung ist zu befürchten, daß die Aussterberate weiter stark zugenommen hat.

4.5.2.2 Bodenerosion und -degradation

Die Bodenerosion, das heißt die Abtragung lockerer Teilchen des fruchtbaren Oberbodens durch Wasser oder Wind, wird durch die Art und den Grad der Vegetationsbedeckung, den Niederschlag, den Bodentyp und eine Reihe weiterer standortspezifischer Faktoren bestimmt. Durch die Auflichtung bzw. Ver-

nichtung der Vegetationsdecke steigt der Bodenabtrag stark an. In den feuchten Tropen spielt dabei nur die Wassererosion eine Rolle, in den Trockenräumen auch die Winderosion.

Die Vegetationsdecke wirkt erosionshemmend, da sie zum einen die Zahl der auf den Boden fallenden Regentropfen und deren erosionsfördernde Energie vermindert. Zum anderen erhöht die starke Durchwurzelung des Bodens dessen Infiltrationskapazität und verringert dadurch den Oberflächenabfluß. Fallen die Regentropfen direkt auf den Boden, so löst deren kinetische Energie den Zusammenhalt der Bodenteilchen und erleichtert dadurch, bei Gefälle, deren Abtrag.

Aufgrund der häufig auftretenden Starkregen sind die Tropen in besonderem Maße erosionsgefährdet. Auf sie entfällt der größte Teil der jährlich durch Erosion verlorengehenden 60 000 km² Kulturland. Weltweit wird der Umfang des erodierten Bodens auf 75 Mrd. t pro Jahr geschätzt. Einen Überblick über die Bodenerosion unter verschiedenen Vegetationstypen und Hangneigungen in den Tropen gibt die folgende Abbildung.

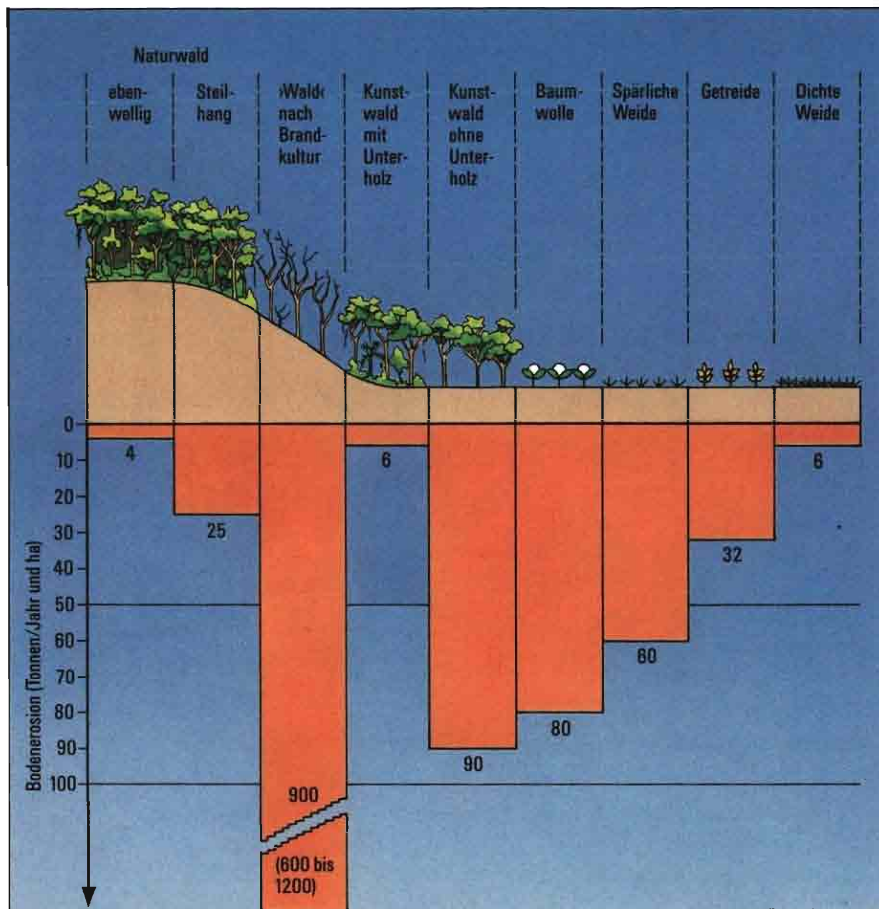


Abbildung 4.7: Abhängigkeit der Bodenerosion von Vegetationstyp und Hangneigung im Bereich der feuchten Tropen
Quelle: EK 1990a

Doch nicht nur die starke Verminderung der Vegetationsüberdeckung fördert die Erosion. Auch die Verdichtung des Bodens, zum Beispiel durch Maschineneinsatz beim Einschlag oder Holztransport, erhöht das Erosionsrisiko, da sie die Infiltrationskapazität verringert und den Oberflächenabfluß erhöht.

Neben dem Abtrag des fruchtbaren, aber dünnen Oberbodens ist in den meisten tropischen Böden der starke Nährstoffverlust nach der Rodung äußerst problematisch. Im Gegensatz zu Ökosystemen in anderen Klimazonen befindet sich in den feuchten Tropen der größte Teil der Nährstoffe in den Pflanzen. Werden diese entfernt, geht dem System unweigerlich ein erheblicher Teil der Nährstoffe verloren. Die Böden sind dagegen nährstoffarm und verfügen nur über ein geringes Potential, ihnen zugeführte Nährstoffe zu speichern. Die Folge sind erhebliche Nährstoffverluste durch Auswaschung, die kaum ausgeglichen werden können und eine längerfristige Nutzung der Böden bzw. das Aufwachsen einer Sekundärvegetation behindern.

Von dieser Bodendegradation sind nicht nur Ackerflächen, sondern auch Weiden und Plantagen betroffen. Gerade schnellwachsende Holzplantagen weisen einen sehr hohen Nährstoffbedarf auf, der in der Regel zu einer deutlichen Abnahme des Nährstoffvorrates führt (Abb. 4.8). Im Jari-Projekt am Unterlauf des Amazonas betrugen die Nährstoffverluste gegenüber dem gesamten ursprünglichen Nährstoffvorrat durch Auswaschung und Stammholzernte nach Umwandlung des Primärwaldes in monokulturelle Holzplantagen 62 % bei Kalzium, 75 % bei Kalium, 30 % bei Phosphor und 50 % bei Stickstoff. Ohne Unterwuchs, der für die Zufuhr organischer Substanz sorgt, würde der langfristige Erhalt produktiver Eukalyptus-Plantagen jährliche Düngergaben von bis zu 400 kg/ha/Jahr (vor allem Kalzium und Kalium) erfordern (GTZ 1989). Günstiger zu beurteilen sind Holzplantagen mit Unterwuchs und naturnaher, waldähnlicher Struktur. In ihnen sind die Nährstoffverluste und die Erosionsgefahr deutlich geringer.

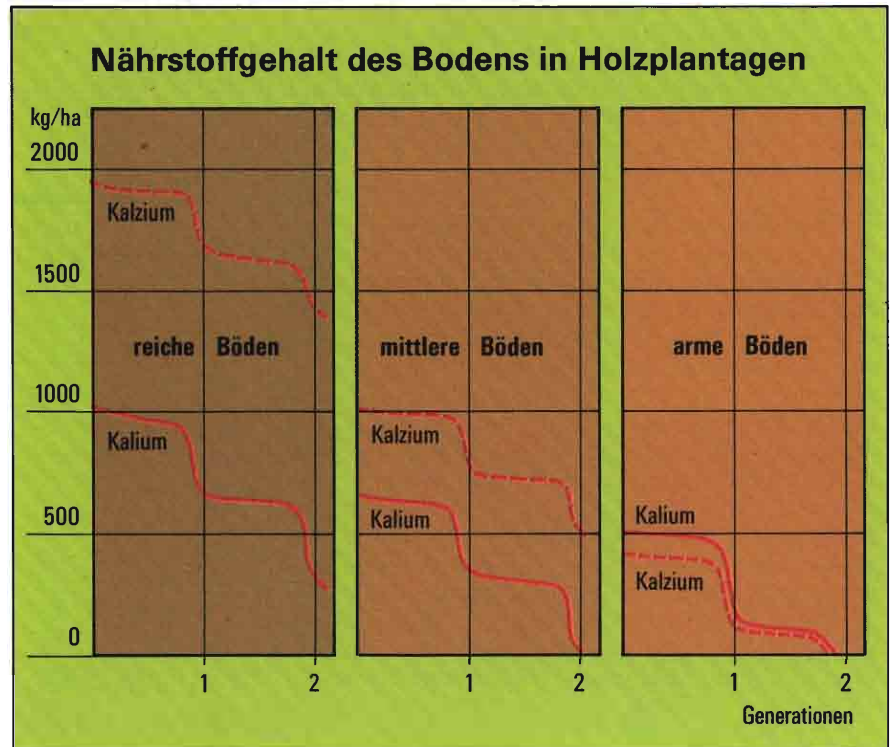


Abbildung 4.8: Szenarien einer Kalium- und Kalziumverarmung in monokulturellen Holzplantagen innerhalb von zwei Generationen bei verschiedenen Bodenqualitäten
Quelle: EK 1990a

5. Auswirkungen künftiger Klimaänderungen auf die Wälder

Das Klima bestimmt in hohem Maße die standörtlichen Bedingungen eines Waldökosystems. Dieser klimabedingten Umwelt passen sich die Organismen, und damit das Ökosystem als Ganzes, an. Es ist daher grundsätzlich davon auszugehen, daß sich die zu erwartenden Klimaänderungen auf die Wälder auswirken werden. Die Frage ist, ob und gegebenenfalls wann diese Veränderungen zum großflächigen Zusammenbruch von Wäldern führen. Dies ist nicht nur vom Ausmaß der künftigen Klimaänderungen abhängig, sondern wird wesentlich auch von anderen Einflüssen einer veränderten Atmosphäre (CO₂-Anstieg, UV-B-Strahlung, Schadstoffbelastung) sowie vom aktuellen Zustand und der Anpassungsfähigkeit der Waldökosysteme bestimmt (vgl. Bolle 1993, Ulrich und Puhe 1994).

5.1 Ökosystemare Grundlagen

Ökosysteme unterliegen einem ständigen Wandel. Dieser ist das Resultat von zum Teil sehr rasch, teils sehr langsam ablaufenden Prozessen innerhalb und außerhalb des Ökosystems. Beispielsweise führt die Durchfeuchtung des Bodens nach einem Niederschlag zu chemischen Reaktionen im Boden und in

den Pflanzenzellen, die innerhalb von Sekunden ablaufen können. Blätter und Früchte werden dagegen, ausgelöst durch die saisonalen Witterungsbedingungen, innerhalb von Wochen und Monaten gebildet. Der Zuwachs an Biomasse und die Anreicherung von Humus in einem Waldbestand kann über Jahrzehnte bis Jahrhunderte anhalten, Anpassungsprozesse an natürliche Klimaschwankungen dauern Jahrtausende an.

Ökosysteme streben einem Fließgleichgewicht zu, das heißt einem Zustand, in dem der Auf- und Abbau von Biomasse in etwa ausgeglichen ist und die Nährstoffverluste durch optimales Recycling minimiert sowie durch den Eintrag von außen wieder ausgeglichen werden. Besonders beeindruckende Beispiele für derartige Waldökosysteme sind die Primärwälder in den immerfeuchten Tropen (Kap. 4.2).

Natürlich oder anthropogen verursachten Störungen und Veränderungen der Randbedingungen können sich Ökosysteme bis zu einem gewissen Grad anpassen. Sofern die Anpassungsfähigkeit (Elastizität) des Systems nicht überschritten wird, strebt es dem dynamischen Gleichgewichtszustand wieder zu. So wird sich zum Beispiel auf einem natürlichen Buchenstandort auch nach einem katastrophalen Ereignis langfri-

stig wieder ein Buchenwald entwickeln. Wird die Elastizität jedoch überschritten, strebt das System einem neuen Fließgleichgewicht zu, es verliert seine Stabilität und befindet sich in einer Übergangsphase, in dem sich sein Zustand verändert. Als Beispiel sei hier die schleichende Degradierung eines Waldes zur Heidevegetation angeführt.

Die Anpassungsfähigkeit von Waldökosystemen hängt unmittelbar von den Baumarten ab. Aufgrund ihrer langen Regenerationsdauer sind die generativen Anpassungsmöglichkeiten von Bäumen an sich verändernde Umweltbedingungen relativ gering. Solange die Bäume aufgrund ihrer genetischen Ausstattung die Klimaänderung verkraften, sind bereits ablaufende Veränderungen häufig nur schwer erkennbar. Zwar können in der Übergangsphase Vitalitätsminderungen auftreten, doch ändert sich der Zustand des Waldökosystems erst bei der Verjüngung grundlegend. Wird diese durch die veränderten Bedingungen entscheidend behindert, so wird sich nach dem Absterben der alten Bäume der Systemzustand relativ rasch verändern und die bisherige Waldgesellschaft in eine neue, möglicherweise baumlose Vegetationsform übergehen. Dieser Prozeß wird als Sukzession bezeichnet.

Es ist also davon auszugehen, daß die Anpassung der Waldökosysteme an künftige Klimaänderungen weniger als kontinuierlicher Prozeß, sondern eher in „Sprüngen“ verlaufen wird (Smith und Shugart 1993). Sie können großflächige Sukzessionen auslösen. Ob und wann die Sukzession wieder in eine Waldgesellschaft mündet, hängt unter anderem davon ab, wie schnell an die veränderten Bedingungen angepaßte Baumarten ihr Areal ausdehnen können. Da dieser Prozeß sehr langsam verläuft, wird es Jahrhunderte dauern, bis sich bei verändertem Klima wieder stabile Waldökosysteme entwickeln können (Prentice 1986, Davis 1989, Overpeck u. a. 1990). Bei diesem Prozeß wirken sich nicht nur klimatische Einflußfaktoren, sondern auch die Bodenverhältnisse und die Eingriffe des Menschen aus.

5.2 Nacheiszeitliche Entwicklung der Wälder

Die Zeiträume, die Waldökosysteme zur Anpassung an Klimaänderungen benötigen, können anhand der nacheiszeitlichen Wiederbewaldung der gemäßigten Zone verfolgt werden. Diese ist insbesondere für Mitteleuropa durch Pollenanalysen recht gut belegt worden (Huntley und Birks 1983). Die allmähliche Erwärmung führte ab etwa 12 000 BP zunächst zur Einwanderung von an kühle Klimate angepaßte Birken und Kiefern. Mit zunehmender Erwärmung und abnehmender Feuchte gingen diese Wälder mehr und mehr in Eichenmischwälder über. Erst vor rund 4 000 Jahren, als es in Europa wieder etwas kühler und feuchter wurde, fand die Buche günstige Bedingungen vor und breitete sich mehr und mehr aus (Ehrendorfer 1983). Derartige Schwankungen vollzogen sich über Jahrtausende unter weitgehend natürlichen Bedingungen. Die Bäume wanderten den sich verschiebenden Klimazonen sozusagen hinterher, wobei

Wanderungsraten von durchschnittlich 20 bis 500, in Extremfällen 1 500 m/Jahr erreicht wurden (Tab. 5.1).

Tabelle 5.1

Wanderungsgeschwindigkeiten
der in Europa vorhandenen Baumarten
verschiedener Gattungen in der Nacheiszeit

Baumart	Wanderungsrate m/Jahr
Tanne	40— 300
Erle	500—2 000
Kastanie	200— 300
Buche	200— 300
Fichte	80— 500
Pistazie	200— 300
Linde	50— 500
Ahorn	500—1 000
Hainbuche	50—1 000
Hasel	1 500
Esche	200— 500
Walnuß	400
Kiefer	1 500
Eiche	75— 500
Ulme	100—1 000

Quellen: Huntley und Birks 1983; Shugart u. a. 1986

Im Gegensatz zu Europa, wo zahlreiche Baumarten während der Eiszeit ausstarben, konnten sich in Nordamerika seit der letzten Eiszeit die Vegetationsgürtel beinahe unverändert wieder nach Norden verschieben. Dabei wanderten die an kühle Klimate angepaßten Fichten-Tannenwälder mehr und mehr in die heutige boreale Zone bzw. in höhere Gebirgsstufen, während sich in der Übergangszone zur Prärie vor allem Eichen und im Südosten Kiefern durchsetzten. Mischwälder aus Eichen und Nußbäumen dehnten ihr Verbreitungsgebiet vor allem im Osten und Nordosten der USA aus (Delcourt und Delcourt 1981) (vgl. Kap. 3).

Es ist jedoch nicht möglich, die für die Nacheiszeit festgestellten Wanderungsgeschwindigkeiten auf die aktuelle Situation zu übertragen. Der gravierendste Unterschied ist die hohe Geschwindigkeit der ablaufenden Klimaänderung. Die prognostizierten Klimaänderungen werden die Anpassungsfähigkeit der Wälder in den gemäßigten und nördlichen Breiten um ein Vielfaches überschreiten. Ein Temperaturanstieg von 1 °C dürfte in etwa einer Verlagerung der Vegetationszonen um 100 km nach Norden entsprechen. Dies wird nach den derzeitigen Klimamodellen innerhalb einiger Jahrzehnte erreicht sein. Die Wälder geraten so vor allem in den gemäßigten und hohen nördlichen Breiten mehr und mehr in klimatische Bedingungen, an die sie nicht angepaßt sind (Gates 1990, Davis 1989, Musselman und Fox 1991).

Außerdem wirken die vom Menschen künstlich waldfrei gehaltenen Nutzflächen als Barrieren bei der Ausbreitung von Bäumen. Regional können darüber hinaus Beeinträchtigungen der Verjüngung, zum Beispiel durch starken Wildverbiß, die Anpassungsfähigkeit von Wäldern einschränken. Zudem unterscheiden sich die Bodenverhältnisse heute wesentlich von denen in der Nacheiszeit. Großflächige Versauerung und Nährstoffverluste behindern zum Beispiel die Ausbreitung anspruchsvoller Arten (Ulrich und Puhe 1994). Umgekehrt kann der Mensch zumindest in intensiv bewirtschafteten Wäldern durch die gezielte Anpflanzung klimavariabler Arten und die Verbreiterung der genetischen Vielfalt die Anpassungsfähigkeit der Wälder erhöhen.

5.3 Die zukünftige Entwicklung der Wälder in einem sich verändernden Klima

5.3.1 Ausmaß der zu erwartenden Klimaänderung

Die Klimamodelle sagen für den Fall fehlender Maßnahmen zur Eindämmung des zusätzlichen Treibhauseffekts eine durchschnittliche globale Erwärmung um 2 bis 5°C in den nächsten 100 Jahren voraus. Über den Kontinenten wird die Erwärmung größer sein als über den Ozeanen. Die Maxima der Erwärmung treten vor allem im Winterhalbjahr in den nördlichen Breiten auf. Manabe und Stouffer (1993) berechnen, daß sich bei weiter ansteigenden CO₂-Gehalt der Atmosphäre die globale Mitteltemperatur innerhalb der kommenden 500 Jahre sogar um 3,5 bis 7°C erhöhen könnte. Ein Gleichgewichtszustand dürfte demnach erst in Hunderten von Jahren erreicht werden.

Die Niederschläge über den Landflächen dürften sich nach den Modellrechnungen bei einer äquivalenten CO₂-Verdopplung in der Atmosphäre global um etwa 4 bis 8 % erhöhen (IPCC 1990). Regional treten jedoch erhebliche Unterschiede auf. Während sich die Niederschlagserhöhung in Teilen der Tropen und in den hohen nördlichen Breiten über das ganze Jahr verteilt, steigen sie in den mittleren Breiten vor allem im Winter an, während im Sommer auch längere Trockenzeiten auftreten können. Die Modelle zeigen zudem nahezu übereinstimmend eine Tendenz zu mehr konvektiven und weniger großflächigen Niederschlagsereignissen (IPCC 1990).

Bei einer äquivalenten CO₂-Verdopplung in der Atmosphäre wird neben den Niederschlägen auch die Verdunstung größer als heute sein, so daß in einigen Regionen die Bodenfeuchte zurückgehen kann. Während dies in den hohen nördlichen Breiten kaum zu befürchten ist — zumal hier mehr Niederschläge als Regen fallen und sich das pflanzenverfügbare Wasserangebot insgesamt erhöht — können die Böden in den mittleren Breiten und den wechselfeuchten Tropen während des Sommers oder der Trockenzeit verstärkt austrocknen. Die dadurch geringere Verdunstung vermindert die Bildung von Konvektionswolken und damit die Niederschlagstätigkeit. Eine derartige positive Rückkopplung verstärkt wiederum

die Trockenheit. Heute bereits unter Dürre leidende Gebiete können dadurch in Zukunft noch mehr gefährdet sein. In großen Gebieten der gemäßigten Breiten werden ausgedehnte Sommerdürren immer häufiger auftreten (Rind u. a. 1990). Der Zusammenhang zwischen Vegetation und Verdunstung wird bislang in den Klimamodellen noch nicht ausreichend berücksichtigt, spielt aber für die Zukunft der Wälder eine äußerst bedeutsame Rolle.

Für die Zeit seit 1949 ist über dem Nordatlantik und dem europäischen Festland ein Anstieg der Windgeschwindigkeiten um 5 bis 10 % und der Windenergie um 15 bis 30 % gemessen worden, der sich zukünftig in einer Häufung von Stürmen äußern wird (EK 1992). Die Zahl der Tiefdruckwirbel (unter 900 hPa) über dem Nordatlantik und Europa hat seit den 30er Jahren um rund 50 % zugenommen und noch stärker die Zahl der extremen Sturmtiefs (Schinke 1992). Wie weit die dichter werdenden Beobachtungen zu diesem Trend beigetragen haben, ist leider noch nicht klar. Da sich gleichzeitig in den warmen und schneearmen Wintern der vergangenen Jahre das kontinentale Kältehoch, das die nach Osten ziehenden Sturmtiefs nach Norden und Süden ablenkt, nur schwach ausbildete, konnten die atlantischen Tiefs viel weiter nach Mittel- und Osteuropa vorstoßen (Abb. 5.1). Bei steigenden Wintertemperaturen könnte diese Konstellation, die zu einer Häufung von Orkanen führt, in Europa immer mehr zum Normalfall werden (Berz 1994).

Auch andere extreme Wetterereignisse wie Hagel und Starkregen, Wärmephasen im Winter, Spätfröste und die bereits oben angesprochenen Dürren werden in einem sich zunehmend variabler gestaltenden Klima häufiger vorkommen (Abschnitt A, Kap. 1). Aber gerade die Häufigkeit und Intensität extremer Ereignisse sind für die Entwicklung der Wälder von großer Bedeutung. Sie können der auslösende Faktor für einen „plötzlichen“ Wandel der Bestockung sein (Ulrich und Puhe 1994).

5.3.2 Auswirkungen auf Ökosystemprozesse

Im folgenden sollen die potentiellen Auswirkungen der mit Klimamodellen berechneten Klimaänderungen auf die in den Wäldern ablaufenden ökosystemaren Prozesse dargestellt werden. Wie eingangs erwähnt wird die Entwicklung der Wälder jedoch nicht ausschließlich vom Klima abhängen. Neben den direkten Eingriffen des Menschen, die in absehbarer Zeit das bestimmende Element für die Waldbestände der Erde sein werden, wird sich auf globaler Ebene auch der ansteigende CO₂-Gehalt in der Atmosphäre auf die Waldentwicklung auswirken. In den mittleren und polnahen Breiten stellt auf beiden Hemisphären die infolge des stratosphärischen Ozonabbaus erhöhte UV-B-Strahlung eine zunehmende Gefährdung für die Ökosysteme dar. Weitere regional wirksame Faktoren sind die erhöhten bodennahen Konzentrationen des pflanzenschädlichen Ozons und die Versauerung und Kontamination der Böden. Diese wurden im Kapitel 3 bereits angesprochen.

Wenngleich die klimatischen Veränderungen zusammen mit den anderen oben genannten Faktoren zu

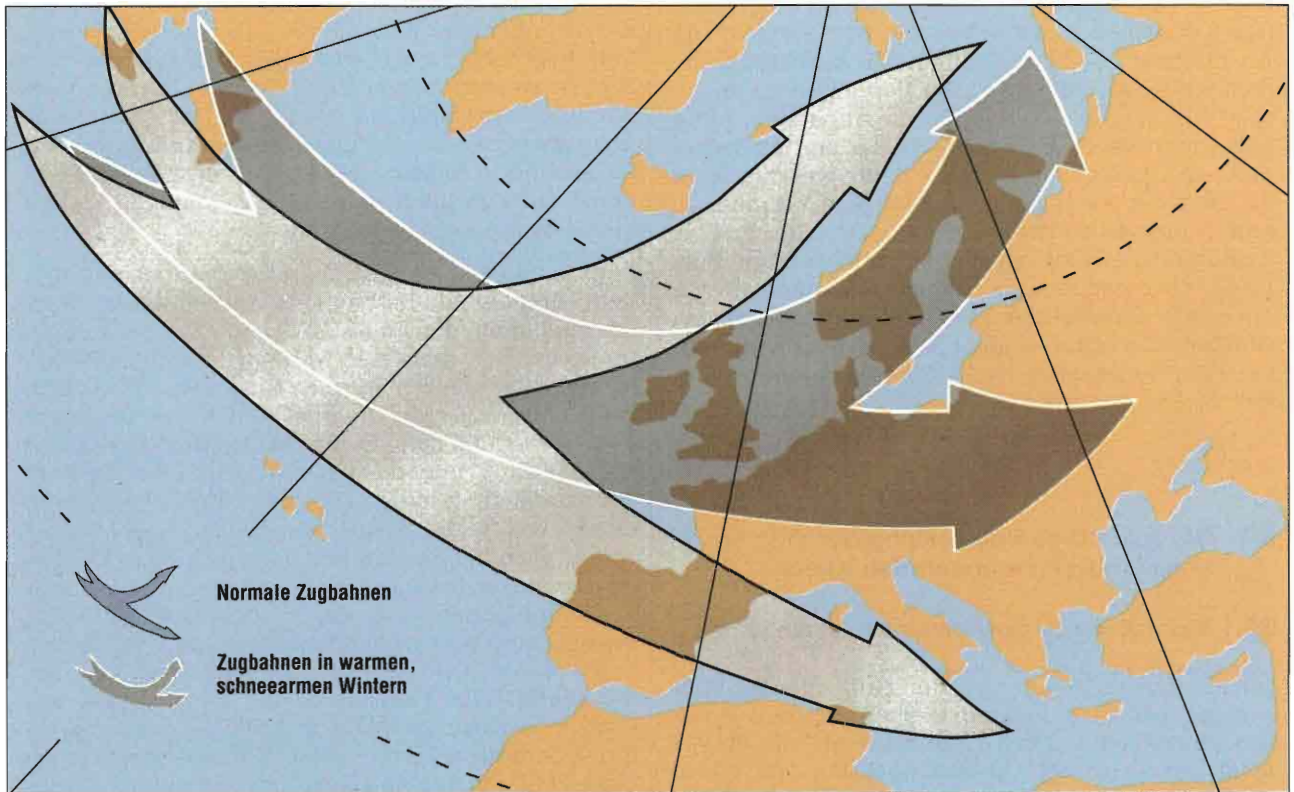


Abbildung 5.1: Schematische Darstellung der Zugbahnen winterlicher Tiefs
Quelle: Dronia 1991

komplexen Wirkungsketten innerhalb der Ökosysteme führen werden (vgl. Punkt 5.1), soll zunächst auf den Einfluß einzelner Parameter auf die Pflanzenentwicklung eingegangen werden.

5.3.2.1 Auswirkung einer Veränderung der Temperatur- und Feuchteverhältnisse

Ein Ansteigen der durchschnittlichen Temperaturen wirkt sich sowohl auf die Photosyntheseleistung als auch auf die Atmung von Pflanzen aus. Je nach Art der Erwärmung (Anstieg der Nachttemperaturen, Erwärmung vor allem im Winterhalbjahr etc.) kann die zusätzliche Atmung der Pflanzen die Erhöhung der Photosyntheseleistung kompensieren oder sogar übertreffen (Woodwell 1990, Schlesinger 1991, Kriebitzsch 1991). Insgesamt besteht jedoch eine tendenziell positive Korrelation zwischen Temperaturerhöhung und dem Pflanzenwachstum. Dies setzt allerdings eine ausreichende Wasserversorgung voraus, die für viele Regionen aus folgenden Gründen fraglich ist:

- Ansteigende Temperaturen und gleichbleibende Luftfeuchte steigern den Wasserbedarf der Pflanzen erheblich.
- Für die mittleren Breiten im Sommer und die wechselfeuchten Tropen in der Trockenzeit werden ausgedehntere Abschnitte mit geringen Niederschlägen prognostiziert.

- Die Niederschläge werden tendenziell verstärkt in kurzen, intensiven Schauern fallen. Dadurch wird der oberflächliche Abfluß zu Lasten des in den Boden einsickernden Niederschlagsanteils erhöht. Die von den Pflanzen nutzbare Wassermenge verringert sich dadurch.

Die Pflanzen reagieren auf Wassermangel mit einer Verengung der Spaltöffnungen (Stomata) in den Blättern, um die Verdunstung zu reduzieren. Gleichzeitig wird dadurch jedoch die Aufnahme von CO_2 , die für die Assimilation von grundlegender Bedeutung ist, verringert. Länger anhaltende Trockenphasen führen daher zu vermindertem Wachstum oder sogar zum Absterben der Pflanzen.

Diesem Effekt wirkt ein erhöhter CO_2 -Gehalt in der Luft entgegen. Er ermöglicht es der Pflanze, auch bei einer verminderten Leitfähigkeit der Stomata noch zu assimilieren (Abb. 5.2). Es ist allerdings fraglich, ob die Erhöhung der Wassernutzungseffizienz wesentlich ist. Modellberechnungen von Allen (1990) zeigen zumindest für Wälder mit hohem Blattflächenindex und damit einem hohen Anteil an unproduktiver Verdunstung von photosynthetisch wenig aktiven Schattenblättern, daß die Verringerung der stomatären Transpirationsverluste durch die erhöhte Blattemperatur kompensiert wird. Die Datenbasis reicht nicht aus, um einen signifikanten wassersparenden Effekt auf Ökosystemebene zu prognostizieren.

Es ist jedoch grundsätzlich zu bedenken, daß eine mögliche CO_2 -induzierte Erhöhung der Wassernut-

zungseffizienz in vielen Regionen weit geringer ausfallen wird als der Anstieg des Wasserbedarfes. Beispielsweise würde in Teilen Mitteleuropas eine Abnahme der Niederschläge um durchschnittlich 2 mm pro Tag die Gesamtniederschläge während der Vegetationsperiode um 30 bis 60 % vermindern. Eine höhere Wassernutzungseffizienz der Pflanzen dürfte sich angesichts derartiger Größenordnungen kaum spürbar auswirken (Ulrich und Puhe 1994). Es ist demnach davon auszugehen, daß sich in Gebieten, die in Zukunft verstärkt sommerliche Trockenperioden aufweisen, innerhalb weniger Jahre bis Jahrzehnte großflächige Waldschäden auftreten werden, die einen Vegetationswandel hin zu baumlosen Pflanzengesellschaften auslösen können.

Von entscheidender Bedeutung für die Entwicklung der Wälder sowie für mögliche Rückkopplungseffekte auf den Treibhauseffekt wird die Veränderung der bodengebundenen Prozesse unter wärmeren Bedingungen sein. Ein Temperaturanstieg bei gleichbleibender oder erhöhter Bodenfeuchte erhöht die Mineralisierung der abgestorbenen organischen Substanz im Boden. Dadurch vergrößert sich die Menge an freigesetzten Nährstoffen. Eine Erhöhung der Jahresmitteltemperatur um 1 °C könnte in Europa zu einem Anstieg der Stickstoffmineralisation im Boden um etwa 15 % führen (Beese 1986). Zumindest vorübergehend wird dies — unter der Voraussetzung einer ausreichenden Wasserversorgung — zu Wachstumssteigerungen führen. Deren Ausmaß dürfte über dem direkt temperaturbedingten Anstieg der Photosyntheseleistung liegen. Ob und wie lange derartige Wachstumssteigerungen anhalten können, hängt vom Bestandsabfall ab. Nur wenn sich die Menge der absterbenden Biomasse und die mit ihr umlaufende Stickstoffmenge entsprechend der Mineralisierungszunahme steigert, kann das hohe Wachstumsniveau beibehalten werden. Ansonsten wird die Mineralisierung zum Vorratsabbau von Stickstoff und Humus im Boden führen. Wo die Wintertemperatur über 5 °C liegen wird, ist damit zu rechnen, daß sich der Humusvorrat auf einem niedrigeren Niveau einpendelt. In der Übergangsphase von einigen Jahrzehnten werden dann die Waldböden zu CO₂-Quellen. Die Quellstärke wird von Ulrich und Puhe (1994) für Mitteleuropa auf 200 bis 500 kg C/ha/Jahr geschätzt, was 10 bis 25 % der Streuproduktion entspricht. Darüber hinaus kommt es zu erheblichen Stickstoffverlusten in Form von Distickstoffoxid (N₂O), das in die Atmosphäre entweicht, und Nitrat (NO₃⁻), das ins Grundwasser ausgewaschen wird. Letzteres wird begleitet vom Verlust anderer Nährstoffe wie Kalzium und Magnesium (Ulrich und Puhe 1994, Bouwman 1990) (vgl. Kap. 3).

Wärmere Winter in den mittleren und nördlichen Breiten können bei vielen Baumarten zu einer Vorverlegung von Blüte und Austrieb führen. Dadurch steigt das Risiko von Spätfrostschäden (Hänninen 1991). Bei Tieren können milde Winter zum vorzeitigen Erwachen aus dem Winterschlaf mit all seinen nachteiligen Folgen führen (Kriebitzsch 1991). Von großer Bedeutung wird die Temperaturerhöhung für die Ausbreitung und das Fraßverhalten von Schädlingen sein. Wärmere Winter verbessern die Überlebensbedingungen vieler Schädlinge (Warrick u. a. 1986). Außer-

dem ist damit zu rechnen, daß Insektenarten, die bislang nicht als Schädlinge aufgetreten sind, bei einer Klimaänderung signifikante Schäden hervorrufen können (Hedden 1989), bzw. Schädlinge aus anderen Klimazonen einwandern. Die Folgen können angesichts der durch Klimastress hervorgerufenen Schwächung der Widerstandskräfte der Bäume drastisch sein (Führer 1992).

5.3.2.2 Auswirkungen extremer Witterungsereignisse

Als extreme Witterungsereignisse werden für Wälder Spätfröste, sommerliche Dürren, Stürme, Naßschnee, aber auch das witterungsabhängige Auftreten von Bränden und Insektenbefall verstanden. Generell ist davon auszugehen, daß sich mindestens einige solcher Erscheinungen im Verlaufe einer Klimaänderung häufen.

Die Waldschäden durch Stürme sind in Mitteleuropa innerhalb dieses Jahrhunderts deutlich angestiegen. Bis etwa 1950 waren Sturmkatastrophen regional begrenzt, der Schadholzanfall lag jeweils zwischen 10 und 17 Mio. m³ (Karius 1990). Die Stürme vom Februar 1990 erbrachten dagegen einen Schadholzanfall von 60 Mio. m³ (Kronauer 1990). Diese Steigerung ist außer auf die Zunahme der Windgeschwindigkeiten vor allem auf die Vorschädigung der fichtendominierten Bestände zurückzuführen (vgl. Kap. 3). Eine mögliche weitere Zunahme der Windgeschwindigkeit läßt vor diesem Hintergrund einen überproportionalen Anstieg des Schadholzanfalls erwarten (Ulrich und Puhe 1994).

Waldbrände spielen vor allem in der borealen Zone und im Mittelmeerraum eine wichtige Rolle innerhalb der Ökosysteme. Die aktuell festzustellende Ausweitung der Brandflächen, vor allem durch menschliches Fehlverhalten, wurde in den Kapiteln 2 und 3 bereits angesprochen. In Kanada könnte sich nach Flannigan und Wagner (1991) die Waldbrandgefahr durch die Klimaänderung bei äquivalenter CO₂-Verdoppelung um die Hälfte erhöhen.

Brände können jedoch auch in Mitteleuropa eine wachsende Bedeutung erhalten. Auf den versauerten Böden bilden sich mehr und mehr Humusaufgaben, die — verstärkt durch ein künftige Zunahme warm-trockener Wetterlagen — das Brandrisiko erheblich erhöhen werden. Dabei sind Kiefern-, Douglasien- und Fichtenbestände besonders gefährdet. Doch auch in Laubwäldern wird sich die Brandgefahr erheblich erhöhen (Ulrich und Puhe 1994).

5.3.2.3 Auswirkungen eines erhöhten CO₂-Gehaltes in der Atmosphäre

Die potentiellen Auswirkungen eines erhöhten CO₂-Gehaltes der Atmosphäre auf die Pflanzen bzw. Wälder sind bislang nicht konkret vorherzusagen. Neben dem bereits geschilderten Einfluß auf die Wassernutzungseffizienz sind unter Laborbedingungen in Versuchen mit erhöhten CO₂-Gehalten eine erhöhte Photosyntheseleistung und ein verstärktes Pflanzenwachstum festgestellt worden (Strain und Thomas

1992, EPA 1992). Dies gilt vor allem bei Sämlingen, die über kurze Zeitspannen (unter 1 Jahr) mit erhöhten CO_2 -Konzentrationen behandelt wurden. In CO_2 -angereicherter Umgebungsluft verringern sich die Atmungsverluste vor allem der C-3-Pflanzen, zu denen praktisch alle Waldbaumarten gehören. Wie die Abbildung 5.2 zeigt, wird das über die Spaltöffnungen aufgenommene CO_2 bei C-3-Pflanzen unmittelbar von einem Enzym (Ribulosediphosphat-Carboxylase) fixiert. Dabei entsteht eine instabile Verbindung mit sechs Kohlenstoffatomen, die rasch in zwei Zuckerderivate aus je drei Kohlenstoffatomen zerfällt — daher die Bezeichnung C-3-Pflanze. Diese Zuckerderivate durchlaufen im sogenannten Calvin-Zyklus verschiedene Reaktionen, in denen die schließlich zum Wachsen benötigten Zucker gebildet werden.

Um die Fixierung am Carboxylase-Enzym konkurriert Kohlendioxid mit Sauerstoff. Wird letzterer eingebunden (Lichtatmung), so wird Sauerstoff verbraucht und Kohlendioxid freigesetzt.

Je größer diese Atmungsverluste sind, desto weniger Energie bleibt der Pflanze zum Aufbau von Gewebe zur Verfügung. Mit zunehmender CO_2 -Konzentration verringert sich die Lichtatmung. Die Lichtatmungsverluste sinken entsprechend bei einem CO_2 -Gehalt von 600 ppm um rund 50 % gegenüber dem heutigen CO_2 -Gehalt in der Luft (Oechel und Strain 1985).

Häufig wurde in Versuchen jedoch festgestellt, daß die Steigerung der Photosyntheseleistung nur vorübergehend anhält. Dies wird unter anderem darauf zurückgeführt, daß die Chloroplasten (Zellorgane, die das für die Photosynthese notwendige Chlorophyll enthalten) aufgrund der gesteigerten Photosynthese übermäßig viel Stärke anreichern, wodurch es zu negativen Rückkopplungen auf die Photosynthese kommt.

Der experimentell — meist in Klimakammern — nachgewiesene wachstumsteigernde Effekt erhöhter CO_2 -Gehalte (CO_2 -Düngeeffekt) läßt sich jedoch aufgrund der folgenden Einschränkungen nicht einfach auf die Verhältnisse in der Natur übertragen.

- Grundsätzlich wird die Produktivität eines terrestrischen Ökosystems in erster Linie durch das Wasser- und Nährstoffangebot sowie die Lichtverhältnisse begrenzt. Nur bei guter Versorgung der Pflanzen kann ein spürbarer CO_2 -Düngeeffekt eintreten. Dies ist in natürlichen und naturnahen Ökosystemen, zu denen die meisten Wälder gehören, oftmals nicht der Fall.
- Die Experimente konzentrieren sich lediglich auf die Effekte eines CO_2 -Anstiegs, ohne die Auswirkungen der damit einhergehenden Klimaänderungen (Temperaturanstieg, Niederschlagsveränderung etc.) mit einzubeziehen.

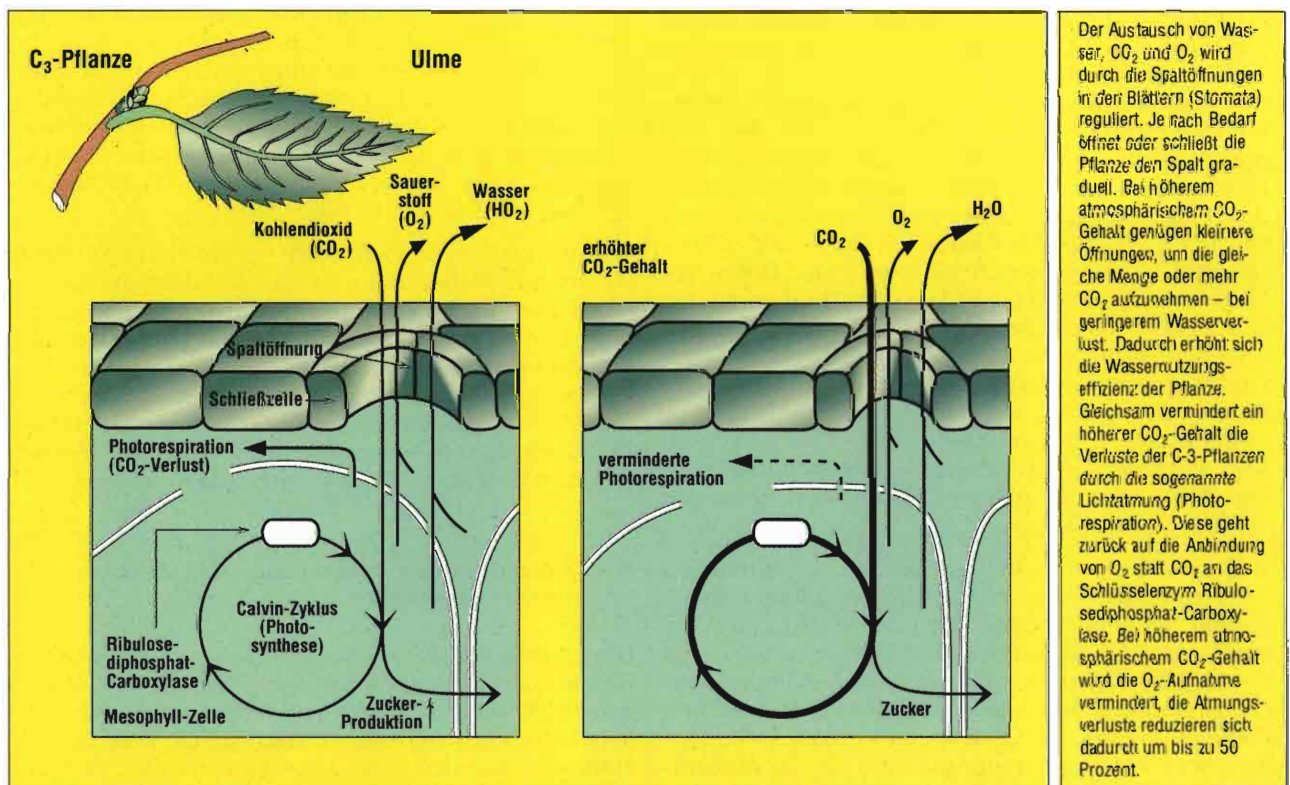


Abbildung 5.2: Ablauf der Photosynthese bei C-3-Pflanzen unter aktuellem und erhöhtem CO_2 -Gehalt der Umgebungsluft
Quelle: Bazzaz und Fajer 1992

- Veränderungen des CO₂-Gehaltes verändern die Konkurrenzverhältnisse in naturnahen Ökosystemen. Einige Arten profitieren zu Lasten anderer Arten. Daraus ergibt sich trotz möglicher Wachstumssteigerung einzelner Pflanzen keine Erhöhung der Produktivität des Ökosystems. Im Gegenteil: Die Verschiebungen der Konkurrenzverhältnisse kann zu einer Destabilisierung der Ökosysteme und zur Verdrängung von Arten führen.
- Eine verstärkte Aufnahme von CO₂ durch die Pflanzen führt zu einer Erhöhung des Verhältnisses von Kohlenstoff zu Stickstoff (C:N-Verhältnis) in der Biomasse. Dies verlangsamt die mikrobielle Umwandlung der Streu und beeinträchtigt den Nährstoffkreislauf. Darüber hinaus kann sich das Fraßverhalten und die Populationsgröße pflanzenfressender Insekten durch Verschiebungen im C:N-Verhältnis verändern (Bazzaz und Fajer 1992).

Vor diesem Hintergrund erscheint es unwahrscheinlich, daß die Erhöhung des CO₂-Mischungsverhältnisses in der Atmosphäre sich wesentlich auf das Pflanzenwachstum auswirken wird. Dies gilt vor allem für natürliche und naturnahe Ökosysteme, in denen meist nicht CO₂, sondern das Wasser- und Nährstoffangebot die wachstumslimitierenden Faktoren darstellen.

5.3.2.4 Auswirkungen erhöhter UV-B-Strahlung

Im Zuge der auf absehbare Zeit fortschreitenden Ausdünnung der stratosphärischen Ozonschicht wird sich die UV-Strahlung an der Erdoberfläche erhöhen (Abschnitt A, Kap. 2). Messungen in der Antarktis ergaben in Jahren mit besonders starkem Ozonabbau eine Erhöhung der UV-B-Strahlung um den Faktor zwei bis drei. Auch in Melbourne konnte eine erhöhte UV-B-Strahlung als Folge geringer Ozonsäulendichte nachgewiesen werden (Roy u. a. 1990). Auf der Nordhalbkugel sind derartige Effekte noch nicht nachgewiesen worden, was neben meßtechnischen Problemen auf erhöhte troposphärische Ozonkonzentrationen zurückzuführen ist. Modellrechnungen ermitteln für die mittleren Breiten eine Erhöhung der UV-B-Strahlung um 20 % pro Jahrzehnt (Zellner 1993). Die Wirkungen dieser Strahlungszunahmen auf die Pflanzen sind im Abschnitt B, Kapitel 3.1.3 beschrieben. Die dort gemachten Aussagen basieren im wesentlichen auf Untersuchungen mit Kulturpflanzen. Dagegen wurden, aufgrund der damit verbunden technischen Probleme, nur wenige Untersuchungen mit Bäumen durchgeführt. Dabei handelte es sich um Sämlinge, über größere Bäume liegen keine Ergebnisse vor (SCOPE/UNEP 1992). Wenngleich analog zu den Kulturpflanzen auch bei Bäumen tendenziell mit einer Beeinträchtigung der Photosynthese und des Zuwachses zu rechnen ist, kann auf der vorliegenden Datenbasis keine quantitative Abschätzung vorgenommen werden. Auch über weitere Auswirkungen, zum Beispiel auf die Tierwelt — vor allem Insekten — können keine Aussagen gemacht werden. In Anbetracht der wichtigen Rolle von Tieren innerhalb von Waldökosystemen könnten sich hier bisher unberücksichtigte Gefährdungspotentiale auftun.

5.3.3 Fazit

Die prognostizierte Klimaänderung übersteigt die Anpassungsfähigkeit der Waldökosysteme, so daß diese mehr und mehr in Bedingungen geraten, an die sie nicht angepaßt sind (IPCC 1992). Ob und wann besser angepaßte Baumarten in die bisherigen Waldökosysteme einwandern, ist in naturnahen Waldgebieten fraglich. In den Wirtschaftswäldern kann der Mensch diesen Prozeß gezielt unterstützen.

Der durch die Klimaänderung ausgelöste Wandel der Wälder wird nicht in einem kontinuierlichen Prozeß, sondern wahrscheinlich in „Sprüngen“ erfolgen. Inwieweit dies zum Zusammenbruch von Wäldern und zur Entstehung baumarmer oder baumloser Pflanzengesellschaften führt, hängt nicht nur von der Geschwindigkeit und dem Ausmaß der veränderten Klimaparameter ab, sondern wird durch andere Faktoren mitbeeinflusst werden. Zu diesen gehört der aktuelle Zustand der Waldökosysteme, der sich durch nicht nachhaltige Nutzungsformen und Stoffeinträge in vielen Regionen verschlechtert hat. Große Bedeutung wird in diesem Zusammenhang der Zustand der Waldböden haben. Insbesondere Waldgesellschaften, die unter nicht optimalen natürlichen Bedingungen stocken bzw. durch anthropogene Einwirkung belastet werden, sind durch die Klimaänderung gefährdet.

Einfluß auf die Waldentwicklung wird zudem der erhöhte CO₂-Gehalt der Atmosphäre ausüben. Der aktuelle Wissensstand läßt erwarten, daß sich eine wachstumssteigernde Wirkung erhöhter CO₂-Gehalte im wesentlichen auf Standorte beschränken wird, die eine gute Nährstoff- und Wasserversorgung aufweisen.

Darüber hinaus werden regional weitere Faktoren, wie zum Beispiel erhöhte UV-B-Strahlung, eine Rolle spielen. Insgesamt ist von komplexen Wirkungsketten auszugehen, die zu regionsspezifischen Veränderungen der Waldökosysteme führen werden. Ein Bestockungswandel wird dabei häufig im Zusammenhang mit Schäden durch klimatische Extremereignisse auftreten.

5.4 Modellvorhersagen über die zukünftige Verteilung der Wälder

In Anlehnung an die Klimamodelle wird seit einigen Jahren versucht, über Vegetationsmodelle die zukünftige Verteilung der Vegetationsformen auf der Erde zu simulieren. Dabei wurden drei unterschiedliche Klassen von Modellen entwickelt. Die erste basiert auf der Korrelation zwischen dem Biom und Klimavariablen, wie Temperatur und Niederschlag (Holdridge 1947 und 1967, Prentice 1990, Smith u. a. 1992). Eine zweite Klasse von Modellen fußt auf dem Zusammenhang zwischen dem Jahresgang von Klimavariablen und den Pflanzen (Box 1981). Die jüngsten Modelle beachten vor allem diejenigen Klimafaktoren, die offensichtlich die Verbreitung von Pflanzen begrenzen, zum Beispiel Temperatur oder Boden-

wassergehalt. Beispiele hierfür sind das BIOME-Modell (Prentice u. a. 1992) sowie die von Neilson (1992) entwickelten Modelle CCVM (Canadian Climate Vegetation Model) und MAPSS (Mapped Atmosphere Plant Soil System).

Bevor auf die Ergebnisse der wichtigsten Modelle eingegangen wird, ist es notwendig, sich deren Aussagekraft vor Augen zu führen. Grundsätzlich handelt es sich bei allen Ansätzen um Gleichgewichtsmodelle, das heißt, es wird ein zukünftiger Zustand dargestellt, in dem sich die Ökosysteme an die veränderten Klimabedingungen angepaßt haben. Die Phase des Übergangs, die unter Punkt 5.3 betrachtet wurde, wird von den Modellen nicht wiedergegeben. Angesichts der eingeschränkten Wanderungsgeschwindigkeit von Bäumen könnten Jahrhunderte bis Jahrtausende vergehen bis der prognostizierte Gleichgewichtszustand erreicht wird.

Darüber hinaus werden in den Modellen wesentliche Faktoren bislang nicht ausreichend berücksichtigt. Dazu gehören der Einfluß der Böden und der Nährstoffversorgung auf die Pflanzenentwicklung und die direkten Effekte eines erhöhten CO_2 -Gehaltes in der Atmosphäre (vgl. Punkt 5.3). Außerdem muß herausgestellt werden, daß die Prognosen über die Verschiebung der Vegetationszonen direkt abhängig von der Qualität der Klimamodelle sind. Diese weisen jedoch auf der regionalen Ebene noch erhebliche Unsicherheiten auf, die sich auf die Vegetationsmodelle übertragen. Außerdem sind als Basis Gleichgewichtsmodelle verwendet worden, die lediglich die Anpassung an einen verdoppelten CO_2 -Gehalt berechnen und die Ozeanströme nicht berücksichtigen.

Ungeachtet dieser erheblichen Einschränkungen liefern Vegetationsmodelle einen Beitrag dazu, sich die möglichen Folgen der Klimaänderung vor Augen zu führen. Im folgenden sollen daher vor diesem Hintergrund die wichtigsten Modellergebnisse dargestellt werden.

Alle Modelle prognostizieren gravierende Verschiebungen der Vegetationszonen in Richtung der Pole. Hinsichtlich der Entwicklung der Waldflächen treten zwischen den Vegetationsmodellen erhebliche Abweichungen auf. Das BIOME-Modell zeigt das Vordringen der borealen Wälder in die heutige Tundra und der sommergrünen Laubwälder in die heutige boreale Nadelwaldzone. Gleichzeitig dehnt sich das potentielle natürliche Verbreitungsgebiet der Tropenwälder aus (Prentice u. a. 1992). Dadurch könnte sich, in Abhängigkeit vom jeweils zugrundeliegenden Klimamodell, die globale Waldfläche bis zu einem Viertel ausdehnen. Zieht man die Aussagen des Holdridge-Life-Zone-Modells (Smith u. a. 1992) heran, so dürfte sich die globale Waldfläche bei einer äquivalenten CO_2 -Verdopplung nicht wesentlich verändern (+1 bis -15 %).

Zu deutlich anderen Ergebnissen gelangen das CCVM und das MAPSS-Modell, die sich allerdings nur auf Nordamerika beziehen. Letztgenanntes ist das am weitesten ausdifferenzierte Vegetationsmodell. Es berücksichtigt nicht nur die klimatischen Schwellenwerte (Temperatur, Niederschlag), die das Verbrei-

tungsgebiet einer Pflanze abgrenzen, sondern ermittelt eine standortspezifische Wasserbilanz. In diese fließen neben den Klimavariablen (Temperatur und Niederschlag) auch die Verdunstung von den Blattoberflächen (Interzeption) und vom Boden (Evaporation) sowie die Transpiration der Pflanzen ein. All diese Einflußfaktoren können über die Blattfläche in einem Ökosystem erfaßt werden. Daher wird zur Berechnung der Wasserbilanz der sogenannte Blattflächenindex (Leaf-Area-Index, LAI) herangezogen (Neilson 1993).

Die starke Betonung des Wasserhaushalts als entscheidende Größe für die Pflanzenentwicklung führt im Modell zu einer drastischen Reduzierung der Waldfläche um 50 %. Bei einer 50prozentigen Steigerung der Wassernutzungseffizienz der Pflanzen — hervorgerufen durch einen höheren CO_2 -Gehalt — würde sich die Waldfläche kaum verändern (+4 %).

Neilson (1992) hat das Modell für die USA weiter verfeinert, indem eine mögliche Verdopplung der Windintensität bei äquivalenter CO_2 -Verdopplung in der Atmosphäre mit einbezogen wurde. Ein Anstieg der Windtätigkeit kann die Waldfläche durch eine Erhöhung der Transpiration und der Wurf Schäden erheblich dezimieren. Je nach Windstärke, Wassernutzungseffizienz und zugrundeliegendem Klimamodell bleiben im Modell 2 bis 98 % der Wälder erhalten. Die riesige Bandbreite zeigt zwar die Unsicherheit der Prognose, doch verdeutlicht sie zugleich, welches Gefahrenpotential die künftigen Klimaänderungen für die Wälder darstellen.

Das Gefährdungspotential auf der globalen Ebene drückt Abbildung 5.3 aus. Diese zeigt die modellierte Entwicklung des Blattflächenindex, das heißt der Pflanzendichte. Mit Ausnahme eines schmalen Streifens im Bereich der nördlichen borealen Zone zeigt die Modellrechnung für fast alle Gebiet der Erde ein deutliche Abnahme der Vegetationsbedeckung.

Die Auswirkungen einer derartigen Vegetationsverschiebung auf den Kohlenstoffhaushalt der Erde wären erheblich. Neilson (1993) schätzt sie anhand der folgenden beiden Szenarien ab:

- 1) Unter der Voraussetzung, daß die Ausdehnung der Waldfläche nach Norden bereits vor einem großflächigen Absterben der Wälder beginnt, würden zunächst jährlich bis zu 1,6 Mrd. tC zusätzlich in die Wälder eingebunden. Sobald jedoch das Absterben der vorhandenen Wälder beginnt, würden die Wälder zu einer CO_2 -Quelle. Das CO_2 -Emissionspotential durch den Vegetationswandel schätzt Neilson (1993) auf etwa 1 bis 5 Mrd. tC, die sich auf ungefähr 35 Jahre verteilen.
- 2) Drastischer sind die Folgewirkungen des zweiten Szenarios, in dem unterstellt wird, daß ein großflächiges Absterben der Wälder bereits einsetzt, bevor sich die Wälder nach Norden hin ausdehnen. Für diesen Fall errechnete Neilson (1993) eine Freisetzung von 20 bis 160 Mrd. tC über 35 und mehr Jahre (vgl. Kap. 6). Diese Größenordnung ist in etwa vergleichbar mit der heutigen CO_2 -Emis-

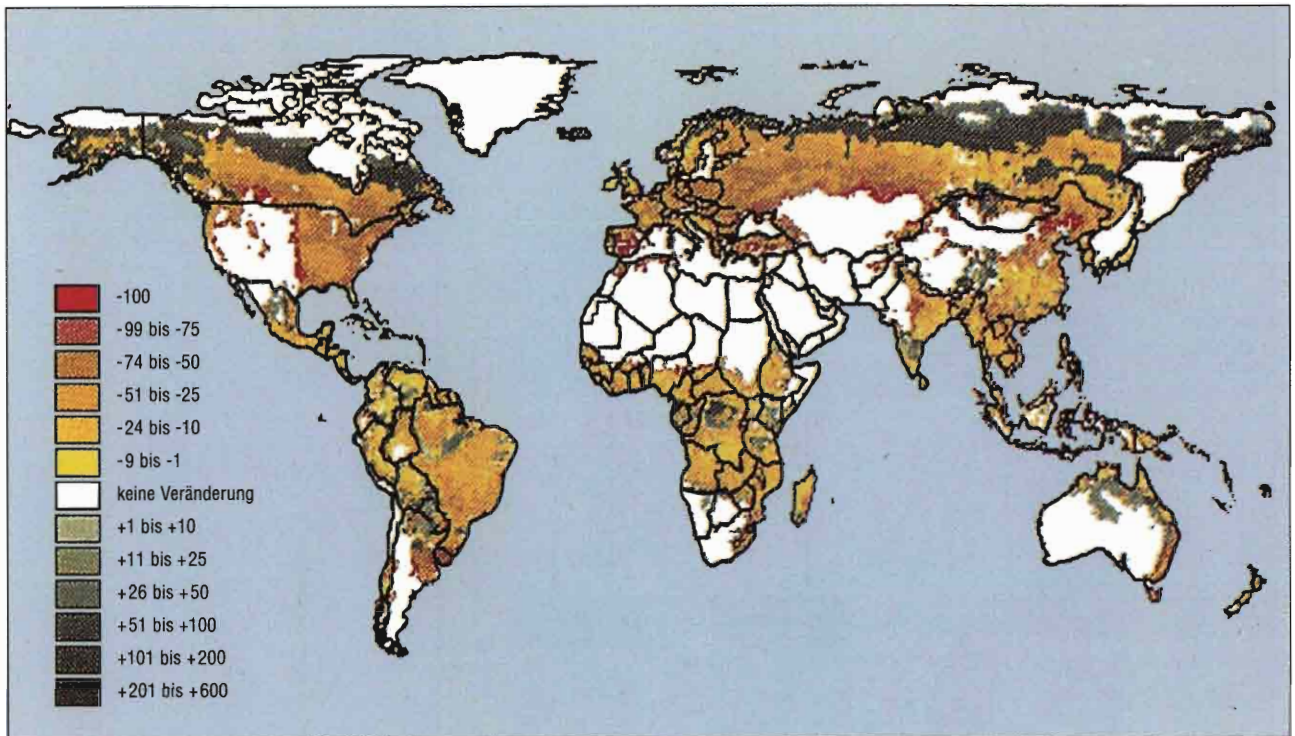


Abbildung 5.3: Abnahme der Vegetationsdichte in einem Klima unter äquivalenter CO_2 -Verdopplung in der Atmosphäre
 Berechnet mit dem MAPSS-Modell als Durchschnitt aus fünf verschiedenen Klimamodellen
 Quelle: Neilson 1993

sion durch die Verbrennung fossiler Energieträger. Sie dürfte entsprechend zu einer weiteren Forcierung des anthropogenen Treibhauseffektes führen.

Es soll abschließend noch einmal betont werden, daß es sich bei diesen Aussagen nur um mögliche Größenordnungen handelt. Die Vegetationsmodelle sind bisher nur erste Ansätze, die es zu verbessern gilt.

6. Die Rolle der Biosphäre im globalen Kohlenstoffkreislauf und der Einfluß des Menschen

6.1 Der globale Kohlenstoffkreislauf und die Rolle der Biosphäre

Die terrestrischen Ökosysteme sind auf vielfältige Weise in die globalen Stoffflüsse eingebunden und stehen in einem komplexen wechselseitigen Austauschverhältnis mit der Atmosphäre (Mooney u. a. 1987). Im Zusammenhang mit der Klimaproblematik ist die Rolle der Biosphäre im globalen Kohlenstoffhaushalt von zentralem Interesse und Gegenstand der wissenschaftlichen Diskussion. In den computergetützten Modellen des Kohlenstoffkreislaufes wird die Landbiosphäre eher als „neutral“ eingestuft, weil Kohlenstoffeinbindung und -freisetzung durch natürliche Prozesse (Photosynthese und Atmung) einerseits

und anthropogene Einflüsse (Rodung, CO_2 -Düngeeffekt, Klimaveränderungen etc.) andererseits sich annähernd kompensieren. Eine Vielzahl von Untersuchungen unterstreicht jedoch, daß einzelne terrestrische Ökosysteme häufig keine ausgeglichene Kohlenstoffbilanz aufweisen, sondern je nach Einzelfall Kohlenstoffquellen oder -senken darstellen. Die modellgestützten Prognosen über die zukünftige Entwicklung des atmosphärischen CO_2 -Gehaltes sind daher mit erheblichen Unsicherheiten behaftet (IPCC 1992, Lugo und Wisniewski 1992, Sampson u. a. 1993).

In Abb. 6.1 sind die Kohlenstoffreservoirs und die jährlichen C-Austauschmengen zwischen ihnen nach gegenwärtigem Wissensstand abgeschätzt.

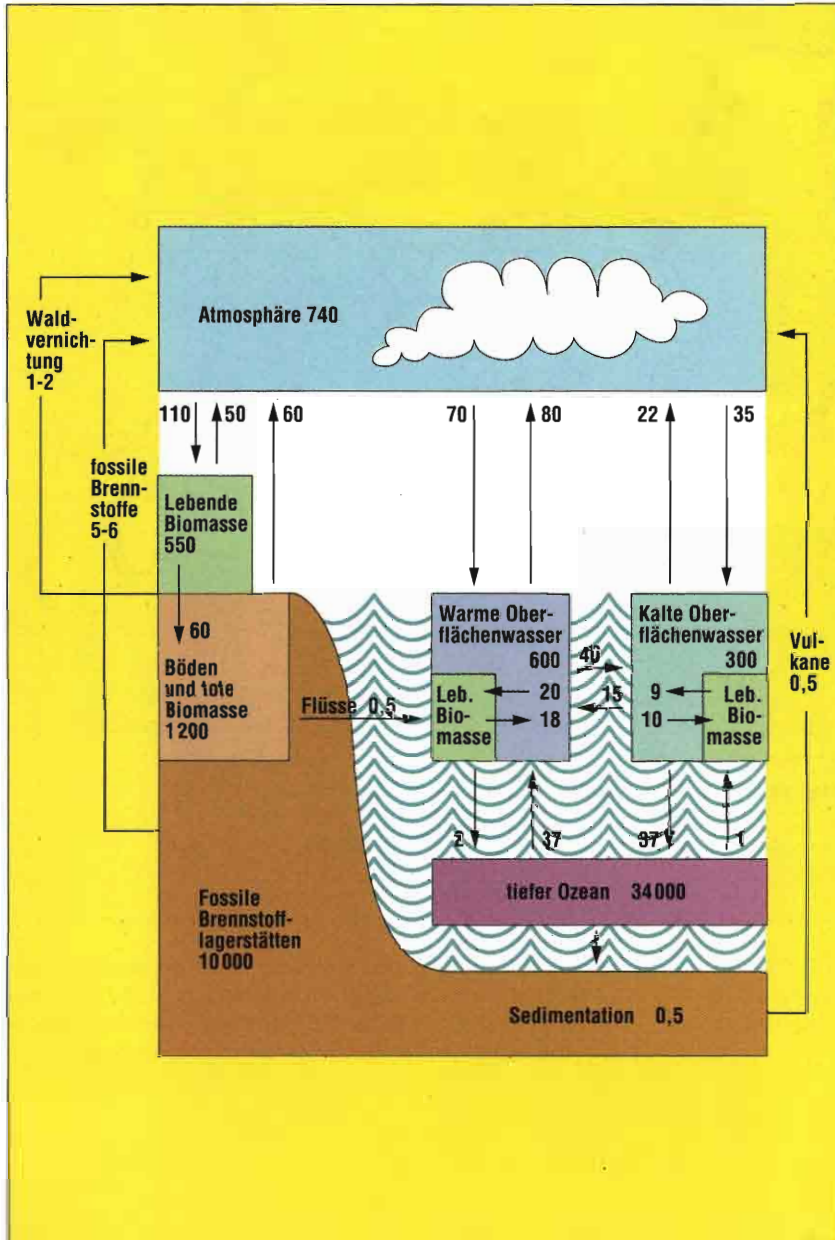


Abbildung 6.1: Der globale Kohlenstoffkreislauf (in Mrd. t/Jahr)
Quelle: Edmonds 1992

Die Werte verdeutlichen die intensiven Austauschbeziehungen zwischen der Atmosphäre und der Biosphäre einerseits und der Atmosphäre und den Ozeanen andererseits. Dagegen ist der Kohlenstofffluß von den Kontinenten in die Meere mit etwa 0,5 Mrd. tC/Jahr vergleichsweise gering. Die gleiche Menge wird in den Sedimenten der Ozeane abgelagert und dann mit erheblicher zeitlicher Verzögerung über die Plattentektonik und der damit verbundenen CO_2 -Emission durch Vulkane wieder in die Atmosphäre zurückgeführt (geochemischer Kohlenstoffkreislauf).

Der Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre liegt heute bei 355 ppmv (IPCC 1992). Dies entspricht einer Gesamtmenge von etwa 740 Mrd. tC. In vorindustrieller Zeit lag dieser Wert um 125 Mrd. tC (ca. 280 ppmv

CO_2) niedriger. Analog zu den stark ansteigenden anthropogenen Kohlenstoffemissionen ist die jährliche Nettoaufnahme in der Atmosphäre seit Beginn der Industrialisierung angestiegen und liegt heute bei 3,4 Mrd. tC/Jahr. Dies entspricht knapp der Hälfte der vom Menschen verursachten Kohlenstoffemissionen (ca. 6 bis 8 Mrd. tC/Jahr).

Die Meere stellen zwar mit rund 36 000 Mrd. tC das größte Kohlenstoffreservoir dar. Der überwiegende Teil dieser Menge wird jedoch im Tiefenwasser unterhalb von 1 000 m gespeichert. In der oberflächennahen Zone befinden sich lediglich rund 600 bis 900 Mrd. tC (Abb. 6.1). Das Tiefenwasser tauscht sich nur sehr langsam mit dem Oberflächenwasser (der sogenannten Mischungsschicht) aus. Dementsprechend

ist der Transport aus der Atmosphäre über die Mischungsschicht in das Tiefenwasser sehr langsam. Dieser Prozeß bestimmt den Anteil des anthropogen emittierten CO₂ in der Atmosphäre. Dagegen erfolgt der CO₂-Austausch zwischen der Atmosphäre und der Mischungsschicht sehr schnell, so daß generell von einem Gleichgewicht zwischen dem in der Atmosphäre vorhandenen und in der Mischungsschicht gelösten CO₂ ausgegangen werden kann. Der größte Teil der hier gespeicherten Kohlenstoffmenge liegt als gelöster nichtorganischer Kohlenstoff vor. Deutlich geringere Mengen sind in den marinen Lebewesen gespeichert. Der CO₂-Austausch zwischen Atmosphäre und den Ozeanen wird durch eine Reihe von Faktoren beeinflusst, unter denen der CO₂-Partialdruck, die Wassertemperatur, die Windgeschwindigkeit und der pH-Wert des Meereswassers die wichtigsten sind. Die kühlen Meereszonen nehmen überwiegend mehr Kohlenstoff auf als sie an die Atmosphäre abgeben, wogegen die wärmeren Meereszonen netto Kohlenstoffquellen darstellen. In der Bilanz ergibt sich für die Ozeane eine jährliche Nettoaufnahme von etwa $2 \pm 0,8$ Mrd. tC/Jahr (IPCC 1992).

Die terrestrische Biosphäre enthält insgesamt rund 1 800 Mrd. tC (Edmonds 1992, Downing und Cataldo 1992), wobei der größte Teil mit gut 1 200 Mrd. tC auf die abgestorbene Biomasse und den im Boden gespeicherten Kohlenstoff entfällt (Zinke u. a. 1986). Die lebende Biomasse speichert etwa 550 Mrd. tC (Olson u. a. 1985).

Setzt man die in Abb. 6.1 wiedergegebene ausgeglichene Kohlenstoffbilanz der Biosphäre voraus, dann ergibt sich das in Tab. 6.1 angegebene Quellen/Senken-Verhältnis.

Da die Emissionsraten und die Akkumulation von CO₂ in der Atmosphäre relativ gut bekannt sind und die CO₂-Aufnahme durch die Ozeane auf lediglich etwa $2,0 \pm 0,8$ Mrd. tC pro Jahr geschätzt wird, muß eine weitere C-Senke in der Größenordnung von etwa $1,6 \pm 1,4$ Mrd. tC pro Jahr existieren, die auf der Nordhalbkugel vermutet wird. Diese Annahme wird durch den Nord-Süd-Gradienten des CO₂-Mischungsverhältnisses in der Atmosphäre begründet.

Tabelle 6.1

Abschätzung der jährlichen Kohlenstoffflüsse im Zeitraum von 1980 bis 1990

Quellen	
Verbrennung fossiler Energieträger	$5,0 \pm 0,5$ GtC
Brandrodungen/ Landnutzungsänderungen	$1,6 \pm 1,0$ GtC
Senken	
Atmosphäre	$-3,4 \pm 0,2$ GtC
Ozeane	$-2,0 \pm 0,8$ GtC
„Fehlende Senke“	$-1,6 \pm 1,4$ GtC

Quelle: IPCC 1992

Da der größte Teil der CO₂-Emissionen auf der Nordhalbkugel freigesetzt wird, müßte — unter Einbeziehung der atmosphärischen Mischungsprozesse — der Kohlenstoffgehalt hier um etwa 5 ppmv höher liegen als auf der Südhalbkugel. Der in den 80er Jahren gemessene Gradient beträgt jedoch nur 3 ppmv. Als mögliche Erklärungen kommen die folgenden Ansätze in Betracht:

- Die ozeanische Kohlenstoffs Senke ist stärker als bisher angenommen.
- Der „fehlende“ Kohlenstoff ist das Resultat einer asymmetrischen natürlichen Verteilung der Senken und Quellen auf der Nord- bzw. Südhalbkugel.
- Es existiert eine starke biosphärische Senke.

Eine verstärkte Kohlenstoffaufnahme durch die Meere erscheint unwahrscheinlich, da die Aufnahmekapazität der oberen Wasserschichten durch verschiedene Rückkopplungsmechanismen begrenzt ist. So wird die oberste Wasserschicht durch die Aufnahme atmosphärischen Kohlendioxids leicht angesäuert, was die weitere CO₂-Aufnahme verringert. Eine Verdopplung des atmosphärischen CO₂-Gehaltes würde nur zum Teil durch eine Erhöhung der Kohlenstoffaufnahme durch die Ozeane kompensiert (Riebesell und Wolf-Gladrow 1992). Auch einer verstärkten Einbindung von Kohlenstoff durch Meeresalgen und Phytoplankton sind Grenzen gesetzt (Riebesell u. a. 1993, Falkowski und Wilson 1992). Selbst unter Einsatz von Düngemitteln konnte der marine Biomassezuwachs nur in geringem Ausmaß verstärkt werden (Orr und Sarmiento 1992).

Untersuchungen von Keeling u. a. (1989b) deuten auf eine asymmetrische natürliche Verteilung zwischen den Senken und Quellen auf der Nord- bzw. der Südhalbkugel hin. Demnach würde der vom Ozean auf der Nordhalbkugel aufgenommene Kohlenstoff durch die thermohaline Zirkulation in die Südhemisphäre transportiert, wo er den Ozean wieder verläßt und über die Atmosphäre auf die Nordhalbkugel gelangt. Ein Teil des nordhemisphärischen Kohlendioxids würde folglich kontinuierlich über die Meere auf die Südhalbkugel verlagert (Heimann 1993). Gestützt wird diese Hypothese u. a. durch eine Untersuchung von Broecker und Peng (1992), die einen derartigen meridionalen Kohlenstofftransport im Ozean nachweisen konnten.

Eine Schlüsselstellung bei der Suche nach der „fehlenden Senke“ nimmt die Landbiosphäre ein (Downing und Cataldo 1992). Tans u. a. (1990) ermittelten über stichprobenhafte Messungen des CO₂-Partialdrucks an der Meeresoberfläche, daß die Biosphäre jährlich netto bis zu 3 Mrd. tC aufnehmen müßte, um die globale Kohlenstoffbilanz auszugleichen. Dieses Ergebnis harmonisiert mit verschiedenen Untersuchungen, die für Wälder in der gemäßigten und borealen Klimazone erhöhte jährliche Zuwachsraten an Biomasse vermuten (FAO 1992a, Kauppi u. a. 1992, Huettl und Zoettl 1992, Apps u. a. 1993). Beide Sachverhalte sind jedoch mit großen Unsicherheiten behaftet. So variiert der CO₂-Partialdruck an der Meeresoberfläche und damit die Kohlenstoffaufnahme lokal und regional sehr stark, so daß die

Messungen von Tans u. a. (1990) als repräsentative Datenbasis nicht ausreichen. Zudem deutet eine Untersuchung von Sarmiento und Sundquist (1992) darauf hin, daß die von Tans u. a. (1990) ermittelte Aufnahmekapazität der Ozeane zu niedrig angesetzt worden ist. Beispielsweise bewirkt die um etwa 0,3°C kühlere Haut des Ozeans (ca. 1 mm) eine zusätzliche Kohlenstoffaufnahme von insgesamt rund 0,7 Mrd. t pro Jahr, die von Tans u. a. (1992) nicht berücksichtigt worden ist (Robertson und Watson 1992).

Auch die Zuwachsraten in den Wäldern sind nur mit großen Unsicherheiten zu bestimmen. Bisherige Untersuchungen zum Beispiel in den borealen Wäldern können zwar recht genau einen Zuwachs des Kohlenstoffpools in den kanadischen Wäldern um etwa 80 Mio. tC/Jahr ermitteln (Kurz u. a. 1992). Die Angaben für die ehemalige Sowjetunion erscheinen dagegen äußerst unsicher und angesichts des in einigen Regionen schlechten Waldzustands zu hoch angesetzt (vgl. Tab. 6.4 und Kap. 2). Zudem ist unklar, ob und wie lange die vermutete Senkenfunktion der borealen Wälder in Zukunft noch anhält. Auch in den Tropen, wo sich innerhalb der letzten Jahre die CO₂-Emissionen durch Rodung deutlich erhöht haben, kann die Kohlenstoffbilanz nur grob bestimmt werden.

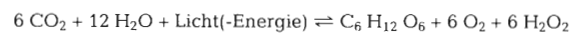
Wesentliche Fortschritte bei der Ermittlung der „fehlenden Senke“ können durch zwei neu entwickelte Methoden erreicht werden, die in jüngster Zeit angewendet werden. Zum einen ermöglichen vergleichende Messungen des ¹²C/¹³C-Verhältnisses in der Atmosphäre eine Unterscheidung von biosphärischer und ozeanischer Senke. Bei der Aufnahme von CO₂ durch die Pflanzen findet im Gegensatz zur Aufnahme durch den Ozean eine deutliche Isotopentrennung statt. Daher müßte sich eine starke biosphärische Senke im ¹²C/¹³C-Verhältnis im atmosphärischen CO₂ niederschlagen. Es liegen bislang zwar erst wenige Messungen vor, erste Ergebnisse bestätigen eine starke biosphärische Kohlenstoffsenke jedoch nicht (Quay u. a. 1992, Levin 1993).

Eine zweite Möglichkeit bieten präzise Messungen des Sauerstoffgehaltes in der Luft, wie sie von Keeling und Shertz (1992) durchgeführt worden sind. Sauerstoff wird bei Verbrennungsprozessen verbraucht und durch Photosynthese freigesetzt, verhält sich also invers zu Kohlendioxid. Im Unterschied zum Kohlendioxid wird er praktisch nicht wesentlich im Meerwasser gelöst. Keeling und Shertz (1992) konnten nachweisen, daß sich der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre zwischen 1989 und 1992 konsistent zur Verbrennung fossiler Energieträger verringert hat. Die Biosphäre hätte demnach keinen wesentlichen Einfluß auf die Entwicklung des Sauerstoffgehaltes in der Atmosphäre ausgeübt, sich also „neutral“ verhalten. Dies würde analog auch für den Kohlenstoffgehalt der Atmosphäre gelten. Sollte sich dieser Trend in den kommenden Jahren bestätigen, hieße das, daß der vermutete Biomassezuwachs in den terrestrischen Ökosystemen zwar die Freisetzung biogenen Kohlenstoffs durch Rodung u. ä. in etwa ausgleicht, jedoch keinen weiteren Kohlenstoff (aus der Verbrennung fossiler Energieträger) einbindet.

Abschließend bleibt festzuhalten, daß der bisherige Wissensstand die „fehlende Senke“ weiterhin braucht. Dadurch wird eine Vorhersage der weiteren Entwicklung des atmosphärischen Kohlenstoffgehaltes erschwert. Sicher ist jedoch, daß die Rolle der Landbiosphäre im globalen Kohlenstoffkreislauf in stärkerem Maße berücksichtigt werden muß. Daher soll der globale biosphärische Kohlenstoffhaushalt im folgenden eingehender betrachtet werden.

6.2 Der Kohlenstoffhaushalt der Biosphäre

Die Rolle der Biomasse im Kohlenstoffkreislauf basiert auf dem Prozeß der Photosynthese, die vereinfacht in der folgenden Gleichung wiedergegeben wird, und der mikrobiellen Zersetzung toter Biomasse. Während durch die Photosynthese atmosphärisches CO₂ in der Biomasse fixiert wird, setzt die mikrobielle Zersetzung den Kohlenstoff wieder in Form von CO₂ frei.



Pro Jahr entzieht die terrestrische Biosphäre der Atmosphäre rund 110 Mrd. tC. Etwa die Hälfte wird in der Biomasse akkumuliert, der Rest über die Atmung wieder in Form von CO₂ an die Atmosphäre abgegeben. Rund 60 Mrd. tC werden durch den mikrobiellen Abbau der abgestorbenen Biomasse freigesetzt. Der gesamte Kohlenstoffpool der terrestrischen Biosphäre wird heute auf 450 bis 600 Mrd. tC in der lebenden Biomasse und 1 200 bis 1 400 Mrd. tC in den Böden geschätzt. Dabei treten erhebliche räumliche Differenzierungen zwischen den verschiedenen Vegetationszonen auf (Tab. 6.2).

Die terrestrische Biosphäre befindet sich nicht in einem Gleichgewichtszustand, sondern unterliegt einem stetigen Wandel. Die heutigen borealen Wälder und ein Teil der temperierten Wälder entstanden zum Beispiel erst im Übergang zwischen der letzten Eiszeit und der heutigen Warmzeit vor 10 bis 15 000 Jahren. Starken Einfluß auf die Entwicklung der Biosphäre übt der Mensch aus. Innerhalb der letzten 10 000 Jahre hat er etwa ein Drittel der ursprünglichen Waldflächen (ca. 6,2 Mrd. ha) gerodet und in Landwirtschafts-, Siedlungs- und sonstige Nutzflächen umgewandelt. Ein Großteil der heute verbliebenen Waldfläche wurde zudem durch den Menschen verändert, so daß nur noch auf etwa einem Viertel der ursprünglichen Waldflächen Primärwälder stocken (Postel und Ryan 1991). Dennoch blieb — wohl aufgrund der relativ langsam voranschreitenden Entwaldung und der deshalb geringen jährlichen CO₂-Emission — der Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre über Jahrtausende in etwa konstant. Erst mit Beginn der Industrialisierung setzte ein stetiger, rascher CO₂-Anstieg ein. Dieser wurde zum einen verursacht durch den fortschreitenden Landnutzungswandel, der im Zeitraum von 1860 bis 1985 etwa 117 ± 35 Mrd. t des biologisch gebundenen Kohlenstoffs freisetzte. Dazu kommen etwa 230 Mrd. tC aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe, die damit für etwa zwei Drittel der gesamten anthropogenen Kohlenstoffemission seit 1860 verantwortlich ist.

Tabelle 6.2

**Geographische Verbreitung, Kohlenstoffgehalt in der lebenden Biomasse und den Böden
sowie die Nettoprimärproduktion verschiedener Ökosysteme**

	Fläche (10 ¹² m ²)			C in Pflanzen (10 ¹⁵ g C)			Primärproduktion (10 ¹⁵ g C/Jahr)			tote Biomasse/ Böden (10 ¹⁵ g C)	
	(1,4)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(2)	(4)
1) Tropische Regenwälder ...	17,0	10,3	12,0	344	193	164	16,8	10,5	9,3	82	} 288
2) Regengrüne tropische Wälder	7,5	4,5	6,0	117	51	38	5,4	3,2	3,3	41	
3) Temperierte Wälder	12,0	7,0	8,2	174	88	65	6,7	4,6	4,9	72	
4) Boreale Wälder	12,0	9,5	11,7	108	96	127	4,3	3,6	5,7	135	247
5) Buschland	8,5	4,5	12,8	23	24	57	2,7	2,2	4,6	72	59
6) Savanne	15,0	22,5	24,6	27	66	49	6,1	17,7	10,7	264	63
7) Temperierte Grasländer ..	9,0	12,5	6,7	6	9	11	2,4	4,4	2,6	295	170
8) Tundren und Hochgebirge	8,0	9,5	13,6	2	6	13	0,5	0,9	1,8	121	163
9) Wüsten und Halbwüsten ..	42,0	45,5	33,4	6	8	5	0,7	1,4	1,4	191	108
10) Landwirtschaftliche Flächen	14,0	16,0	15,9	6	3	22	4,1	6,8	12,1	128	111
11) Sümpfe, Marschen und Küstenzonen	2,0	2,0	2,5	14	12	7	2,7	3,3	3,6	} 225	145
12) Moore und Torfböden	—	1,5	0,4	—	3	1	—	0,7	0,2		—
13) Seen und Flüsse	2,0	2,0	3,2	0	0	1	0,4	0,4	0,4		0
14) Siedlungsflächen	—	2,0	—	—	1	—	—	0,2	—	10	—
Gesamt	149,0	149,3	151,1	827	560	560	52,8	59,9	60,6	1636	1515

(1) Whittaker und Likens 1975

(2) Atjay u. a. 1979

(3) Olson u. a. 1983

(4) Schlesinger 1977

Quelle: Bolin u. a. 1986

Neben den direkten Eingriffen des Menschen in die Waldökosysteme wirken sich auch die innerhalb des letzten Jahrhunderts stark angestiegenen Einträge von Stickstoff, Schwefeldioxid und anderen luftgetragenen Schadstoffen sowie die erhöhten bodennahen Ozonkonzentrationen auf den Zustand der Wälder aus. Auch die Zunahme anthropogen verursachter Waldbrände vor allem in den Subtropen (Savannen) und der borealen Zone wirkt sich zunehmend auf die Waldentwicklung aus. Ferner dürfte der anthropogen erhöhte CO₂-Gehalt der Atmosphäre und die im Zuge des stratosphärischen Ozonabbaus angestiegene UV-Strahlung das Pflanzenwachstum spürbar beeinflussen.

Die Vielzahl der sich überlagernden Einflußfaktoren erschwert es erheblich, das aktuelle Verhältnis sowie die geographische Verteilung der biosphärischen Kohlenstoffquellen und -senken zu ermitteln. Der Kenntnisstand über die aktuelle Entwicklungstendenz der wichtigsten Ökosystemtypen sowie die voraussichtlichen Veränderungen durch zukünftige Klimaveränderungen und den Anstieg des CO₂-Gehaltes in der Atmosphäre soll im folgenden erläutert werden.

6.2.1 Wälder

Tropische Wälder

Die in den Tropenwäldern gespeicherte Kohlenstoffmenge wird auf etwa 375 Mrd. tC geschätzt. Davon entfallen rund 160 Mrd. tC auf die lebende Biomasse und etwa 215 Mrd. tC auf die abgestorbene und im Boden gebundene organische Substanz (Brown u. a. 1993). Die Rolle der Tropenwälder im globalen Kohlenstoffkreislauf wird durch die seit der Mitte des letzten Jahrhunderts einsetzende großflächige Rodung wesentlich verändert. Diese bewirkte zunächst in Asien (etwa ab 1850), später auch in Lateinamerika (etwa ab 1880) und Afrika (etwa seit 1950) einen erheblichen Anstieg der Kohlenstoffemission (Abb. 6.2) auf insgesamt 1,6±1,0 Mrd. tC/Jahr. Für den gesamten Zeitraum von 1850 bis 1990 ermittelte Houghton (1992) die Freisetzung von 67,4 Mrd. t Kohlenstoff.

Regionalanalysen weisen für das tropische Lateinamerika im Zeitraum von 1950 bis 1965 einen Anstieg der jährlichen Freisetzung biogenen Kohlenstoffs von etwa 0,2—0,3 auf 0,6—0,7 Mrd. tC auf. Zwischen 1965

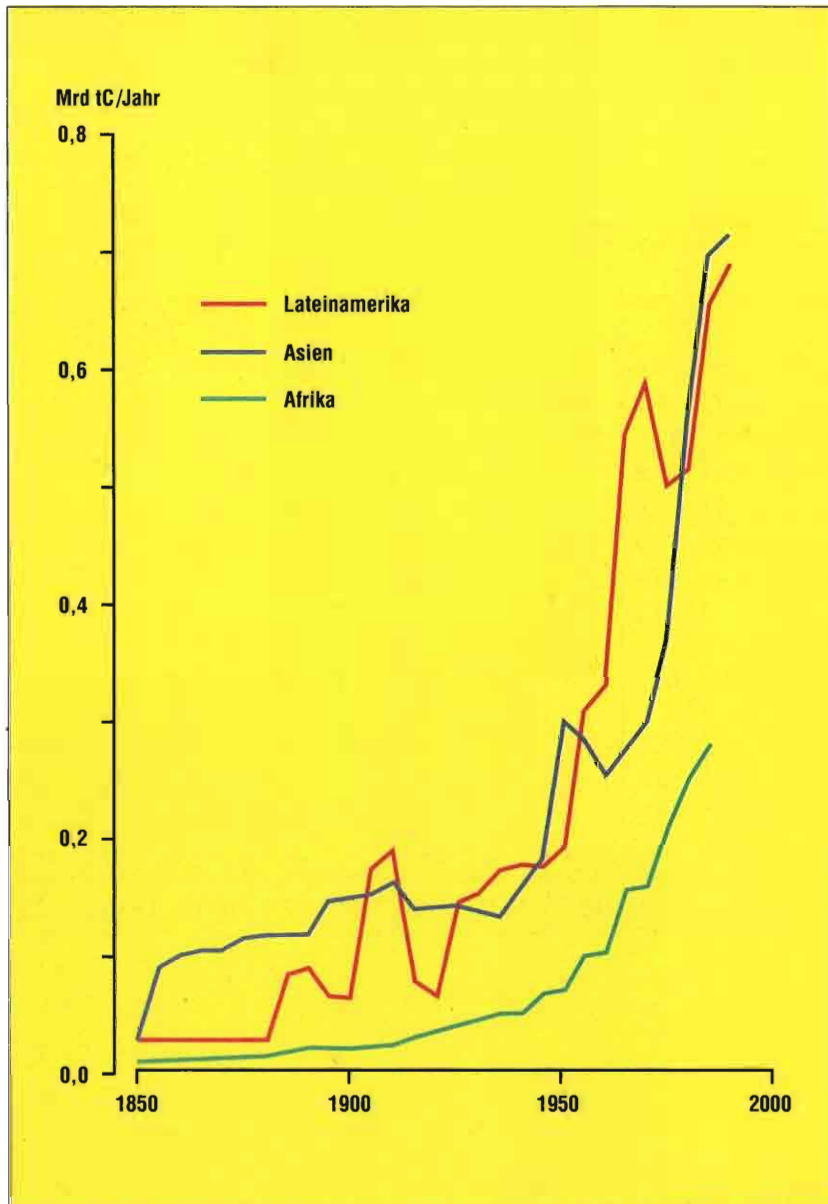


Abbildung 6.2: Entwicklung der Netto-Kohlenstofffreisetzung in den tropischen Wäldern
Quelle: Brown u. a. 1993

und 1985 stieg dieser Wert auf rund 0,95 Mrd. tC/Jahr an. Die Kohlenstoffemission ist zu drei Viertel auf die Landnutzungsänderung, vornehmlich durch Brandrodung, zurückzuführen. Über 40 % der CO₂-Emission geht auf den zeitlich verzögerten Abbau der durch Brandrodung betroffenen oberirdischen Biomasse zurück. Etwa 13 % wird durch den mikrobiellen Humusabbau, der Rest unmittelbar durch Feuer bzw. die Verrottung der dem Wald entnommenen Produkte freigesetzt (Houghton 1991).

Für das tropische Asien ergab eine Inventarisierung des biogenen Kohlenstoffpools für den Zeitraum von 1880 bis 1980 eine Emission von 30 Mrd. tC als Folge von Walddegradation und -umwandlung. Zwischen 1880 und 1980 reduzierte sich dadurch die in den tropischen Wäldern Asiens gebundene Kohlenstoff-

menge von 55 auf etwa 25 Mrd. tC (Flint und Richards 1993). Dabei ist die Veränderung des Bodenkohlenstoffs nicht berücksichtigt. Houghton und Hackler (1993) ermittelten über Modellrechnungen eine Freisetzung von 19,2 bis 32,6 Mrd. tC im Zeitraum von 1850 bis 1990, wovon etwa 4,5 Mrd. tC auf die Emission aus den Böden zurückzuführen ist.

Die Bilanzierungen der biogenen Kohlenstoffemission weisen zum Teil erhebliche Unsicherheiten auf. Zum einen steht den Emissionen eine schwer quantifizierbare Menge Kohlenstoff gegenüber, die durch nachwachsende Sekundärwälder auf ehemaligen Rodungsflächen aufgenommen wird. Houghton u. a. (1991) schätzen diese für das tropische Lateinamerika auf rund 250 Mio. t Kohlenstoff (rund ein Viertel der jährlichen Emission). Lugo und Brown (1992)

machen zudem darauf aufmerksam, daß auch Wälder, die sich im Reifestadium befinden und nicht durch den Menschen gestört werden, Biomasse akkumulieren. Dies hätte ebenfalls eine Verringerung der jährlichen Netto-Kohlenstoffemission zur Folge.

Zum anderen ist bislang der Anstieg der jährlichen Rodungsraten im Zeitraum 1980—90 von 11 auf über 15 Mio. ha pro Jahr in den Kohlenstoffbilanzen noch nicht berücksichtigt. Darüber hinaus existieren weitere Kohlenstoffquellen, die bislang nicht oder nicht ausreichend berücksichtigt werden können, so etwa die schleichende Degradation von Wäldern durch langanhaltende Entnahme von Holz und anderen Produkten.

Vor diesem Hintergrund sind existierende Schätzungen der Netto-Kohlenstoffemission aus tropischen Wäldern als sehr unsicher anzusehen. Sie dürften eine Größenordnung von 1,0 bis 1,3 Mrd. tC im Jahr 1980 und 1,2 bis 2,2 Mrd. tC im Jahr 1990 erreicht haben (Brown u. a. 1993).

Die vorhersehbare zukünftige Entwicklung des tropischen Kohlenstoffpools wird vornehmlich von der Entwicklung der Rodungstätigkeit abhängen. Gelingt es nicht, den aktuellen Trend umzukehren, so werden bis zum Jahr 2050 rund 660 bis 1200 der im Jahr 1990 noch vorhandenen 1 800 Mio. ha Tropenwälder vernichtet. Die damit verbundene Abnahme des Kohlenstoffpools wird auf 40 bis 140 Mrd. tC geschätzt (Trexler und Haugen 1993 und EK 1990a) (vgl. Kap. 4).

Im Vergleich zu den direkten menschlichen Eingriffen wird die Veränderung des Klimas und der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre zumindest in den feuchten Tropen einen geringeren Einfluß haben. Allgemein wird erwartet, daß sich hier der Kohlenstoffumsatz in den Wäldern zwar beschleunigt, der Kohlenstoffpool jedoch weitgehend unverändert bleiben wird. Stärkere Auswirkungen der Klimaänderungen und des CO₂-Anstiegs sind dagegen für die semiariden und ariden Tropen anzunehmen. Der teilweise relativ höhere Nährstoffgehalt der Böden und die steigende Wassereffizienz insbesondere von C3-Pflanzen bei höheren CO₂-Gehalten der Luft können die Nettoprimärproduktion steigern, soweit nicht andere Wachstumsfaktoren limitierend wirken. Andererseits reagieren die hier vorherrschenden Savannen und Trockenwälder äußerst empfindlich auf Veränderungen des Niederschlagsregimes. Bereits eine geringe Ausdehnung der winterlichen Trockenzeit kann zum Zusammenbruch der Ökosysteme und damit zur Freisetzung erheblicher CO₂-Mengen führen.

Wälder und Moore der borealen Zone

Mit einer Ausdehnung von etwa 1 500 Mio. ha und einer Kohlenstoffmenge von etwa 700 Mrd. t stellen die Ökosysteme der borealen Zone den größten biosphärischen Kohlenstoffspeicher dar. Die niedrigen Temperaturen und die kurze Vegetationsperiode schränken zwar das Pflanzenwachstum ein, vermindern aber auch die Zersetzung von abgestorbenem Pflanzenmaterial. Dadurch bildet sich ein großer Koh-

lenstoffspeicher in Form von unzersetzten Pflanzenteilen, Auflagehumus, Bodenhumus sowie Torf (Tab. 6.3).

Aktuelle Untersuchungen belegen für die borealen Ökosysteme ein unausgeglichenes Kohlenstoffaustauschverhältnis mit der Atmosphäre. Dies läßt auf eine dynamische Entwicklung der borealen Wälder und Moore schließen, die im wesentlichen auf folgende Einflußfaktoren zurückzuführen ist (Apps u. a. 1993).

- Die Erwärmung seit der letzten Eiszeit
- Postglaziale Klimaschwankungen, z. B. die sog. „kleine Eiszeit“ (1250 bis 1850)
- Signifikante Veränderungen von Häufigkeit und Intensität der Störfaktoren Feuer, Insektenbefall und Holzeinschlag
- Stoffeinträge im Zusammenhang mit der anthropogenen Luftverschmutzung (nur regional wirksam)

Zur Zeit nehmen nach Schätzungen von Apps u. a. 1993, Kurz u. a. 1992 sowie Vinson und Kolchugina 1993 die borealen Ökosysteme mit 0,6 bis 0,7 Mrd. tC/Jahr mehr Kohlenstoff auf als sie an die Atmosphäre abgeben. Diese Senkenstärke beruht zum größten Teil auf dem vermuteten Zuwachs in den Wäldern der ehemaligen Sowjetunion (Tab. 6.4). Aufgrund des katastrophalen Waldzustands in weiten Teilen der GUS-Staaten dürfte die Schätzung jedoch zu hoch liegen (vgl. Kap. 2).

Diese aktuelle Senkenfunktion der borealen Ökosysteme wird sich deshalb voraussichtlich innerhalb der nächsten Jahrzehnte deutlich verändern. Kurz und Apps (1993) gehen davon aus, daß die zu beobachtenden Änderungen des Störungsregimes (Brände, Schädlingsbefall, Einschlag) und die Altersklassenverteilung die Kohlenstoffemission so stark erhöhen können, daß die kanadischen Wälder zu einer Nettoquelle für Kohlenstoff werden. Dieser mögliche Umschwung könnte durch die nachhaltige Nutzung der Wirtschaftswälder im Reife- oder Zerfallsstadium bei anschließender Wiederaufforstung abgemildert werden. Dabei wäre es gleichzeitig auch möglich, durch die Aufforstung mit geeigneten Arten die Anpassungsfähigkeit der Wälder an die Klimaänderung zu erhöhen. Dies gilt nur für die artenarmen und einförmigen typischen borealen Waldbestände, nicht jedoch für die Küstenregenwälder, die sich strukturell und biologisch deutlich von den anderen Wäldern in der borealen Zone unterscheiden. Es ist außerdem zu bedenken, daß der Einschlag sich nachteilig auf den im Boden gebundenen Kohlenstoffpool auswirken kann. Die Kohlenstoffbilanz eines derartigen Vorgehens ist daher ungewiß.

Die potentiell wachstumsteigernde Wirkung des anthropogenen Nährstoffeintrages (insbesondere Stickstoff) wirkt eher kurzfristig und kann mittelfristig zu Ungleichgewichten in der Nährstoffversorgung und dadurch zur Degradierung von Wäldern führen (Kauppi u. a. 1992, Apps u. a. 1993).

Es wird erwartet, daß die Wälder aufgrund der Geschwindigkeit der klimatischen Veränderungen in

Tabelle 6.3

Verbreitung und Kohlenstoffpools der borealen Wald- und Moorökosysteme

	Fläche (Mio. ha)		Kohlenstoffmenge (Mrd. t C)					
	Wälder	Moore	Lebende Biomasse	Tote Biomasse	Waldböden	Torf	Waldprodukte	Total
Alaska	52 ¹⁾	11 ⁶⁾	2 ¹⁰⁾	1	10	17 ¹⁷⁾	<0,1	30
Kanada (boreale Wälder)	304 ²⁾	89 ⁷⁾	8 ¹¹⁾	N/A ¹⁴⁾	65	113 ¹⁸⁾	0,2 ²¹⁾	186
Kanada (Küstenregenwälder) ...	72 ³⁾	3	6	N/A ¹⁴⁾	16	4 ¹⁸⁾	0,3	27
Rußland	760 ⁴⁾	136 ⁸⁾	46 ¹²⁾	31 ¹⁵⁾	100 ¹⁶⁾	272 ¹⁹⁾	2,9 ²²⁾	451
Skandinavien	61 ⁵⁾	20 ⁹⁾	2 ¹³⁾			13 ²⁰⁾		15
Gesamt	1 249	260	64	32	199	419	3,4	709

1) Birdsey (1992)
2) Nur bislang inventarisierte Gebiete in der borealen, arktischen und subarktischen Klimagebieten Kanadas (Kurz u. a. 1992)
3) Werden vegetationsgeographisch nicht zu den borealen Wäldern gezählt
4) Etwa 95 Prozent der Waldfläche der ehemaligen Sowjetunion entfallen auf die Russische Föderation
5) Schätzung nach UN-ECE/FAO (1992)
6) Nur mächtige Moorböden; ohne 38 Mio. ha Moorböden in der Tundran (Kivinen und Pakarinen 1981)
7) Canadian Wetlands Working Group (1986) und Kurz u. a. (1992)
8) Nach Sowjetischem Waldkommittee (1990)
9) Kivinen und Pakarinen (1981)
10) Birdsey (1992), ober- und unterirdische lebende Biomasse
11) Kurz u. a. (1992), ober- und unterirdische lebende Biomasse
12) Kolchugina und Vinson, persönliche Mitteilung (1993), ober- und unterirdische Phytomasse, Unterwuchs und Gras
13) Kauppi, persönliche Mitteilung (1993)
14) Abgestorbene Pflanzenmasse ist im Boden-C-Gehalt berücksichtigt
15) Kolchugina und Vinson, persönliche Mitteilung (1993); Abfall (10,6 Mrd. t) und Nekromasse (20,2 Mrd. t)
16) Kolchugina und Vinson (1993), nur Wälder, exklusive Moore
17) Nach Gorham (1991), mittlere Tiefe 2,5 m, mittlere Dichte 0,112 g/ccm, 51,7 % C-Gehalt
18) vgl. 17, mittlere Tiefe 2,2 m
19) Bei 2000 t C/ha (Kolchugina, persönliche Mitteilung)
20) vgl. 17, mittlere Tiefe 1,1, m
21) C-Gehalt organischer Abfälle beim Einschlag
22) Sinitsin (1990)

Quelle: Apps u. a. 1993

eine zunehmende Diskontinuität mit den sich ändernden Umweltbedingungen geraten und als Folge verstärkt Kohlenstoff aus den borealen Ökosystemen freigesetzt wird.

Ein weiterer Streßfaktor bei Klimaänderungen ist eine Zunahme der Wahrscheinlichkeit für sehr hohe Windgeschwindigkeiten und damit erhöhte Waldschäden durch Windbruch. Rechnungen mit gekoppelten Ozean-Atmosphäre-Modellen deuten das für hohe nördliche Breiten an. Aber auch Messungen über dem Nordatlantik zeigen innerhalb der letzten drei Jahrzehnte eine Zunahme der Windenergie um 20 bis 30 %.

Dagegen dürfte die wachstumsteigernde Wirkung eines erhöhten CO₂-Gehaltes der Luft kaum spürbaren Einfluß auf die weitere Waldentwicklung haben. Es wird erwartet, daß sich aufgrund der erhöhten Wassernutzungseffizienz der Pflanzen bei zunehmender Trockenheit die Wurzelmasse insbesondere auf nährstoffarmen Standorten erhöhen kann. Nachgewiesen wurde ein derartiger Effekt in den borealen Wäldern jedoch bislang noch nicht (vgl. Kap. 5).

Wälder der gemäßigten Breiten

Der Kohlenstoffpool der Wälder in den gemäßigten Breiten ist in der Vergangenheit am stärksten reduziert worden (vgl. Kap. 3). Die großflächigen Rodungen, zunächst in Europa, später auch in den USA, machten die temperierten Wälder bis zum Ende des 19. Jahrhunderts zu einer bedeutenden Kohlenstoffquelle. Vor allem durch großflächige Aufforstungen wandelte sich im Verlauf der letzten zwei Jahrhunderte die Rolle dieser Wälder im globalen Kohlenstoffhaushalt zu einer schwachen Senke von heute knapp 0,2 Mrd. tC/Jahr. Das gesamte Speichervolumen beträgt rund 70 Mrd. tC (Tab. 6.5).

Die aktuelle Entwicklung ist zum einen durch stabile Waldflächenanteile in den wichtigsten Verbreitungsgebieten gekennzeichnet. Im Durchschnitt nehmen die heutigen temperierten Wälder rund 40 % der ursprünglichen Fläche ein. Zum anderen ist in zahlreichen Ländern eine Steigerung des jährlichen Biomassezuwachses nachgewiesen worden, die zwischen 1971 und 1990 zu einer Erhöhung der Biomasse

Tabelle 6.4

Aktuelle Kohlenstoffflüsse in der borealen Zone

(+ = Nettoaufnahme; – = Nettofreisetzung)

	Ökosystem ¹⁾	Moore	Produkte	Nettofluß
	(Mio t C/Jahr)			
Boreale Zone	+605	+45	+57	+707
Alaska	+ 6 ²⁾	+ 3 ⁶⁾	<+ 1	+ 9
Kanada (boreale Wälder)	+ 62 ³⁾	+25 ⁷⁾	+ 8 ⁹⁾	+ 95
Kanada (Küstenregenwälder)	+ 1 ³⁾	+ 1 ⁷⁾	+11 ⁹⁾	+ 13
Rußland	+493 ⁴⁾	+11 ⁸⁾	+26 ¹⁰⁾	+530
Skandinavien	+ 43 ⁵⁾	+ 5 ⁸⁾	+12 ¹¹⁾	+ 60

¹⁾ Umfaßt Biomasse und Boden-C sowie alle C-Flüsse, die durch Störungen und Ernte ausgelöst werden. Sofern Berechnungen verfügbar waren, wurden die C-Flüsse in Torfböden in Spalte 3 ausgewiesen

²⁾ Schätzungen für Alaska gehen davon aus, daß die C-Flüsse pro Hektar in etwa denen im Yukon-Territorium in Kanada entsprechen (Kurz u. a. 1992)

³⁾ Nettoveränderung im C-Gehalt des Ökosystems (Biomasse und Boden)

⁴⁾ Kolchugina und Vinson (1993); Nettoprimärproduktion (1,05 t C/ha/Jahr); C-Freisetzung durch Brände (199 Mio. t C/Jahr), Ernte (152 Mio. t C/Jahr) und Torfbrände (100 Mio. t C/Jahr)

⁵⁾ Kauppi, persönliche Mitteilung

⁶⁾ Bei einer Nettosenkenstärke von 23 g C/qm/Jahr (Gorham 1991)

⁷⁾ Bei einer Nettosenkenstärke von 28 g C/qm/Jahr (Kurz u. a. 1992, Gorham 1991, Zoltai persönliche Mitteilung)

⁸⁾ Bei einer Nettosenkenstärke von 30 g C/qm/Jahr und einer Freisetzung von 30 Mio. t C/Jahr durch die Verbrennung von Torf

⁹⁾ Nettobilanz der C-Freisetzung durch Verrottung von Holzprodukten, Emissionen im Produktionsprozeß und Input aus Holzeinschlag

¹⁰⁾ C-Menge in neu gefertigten Holzprodukten (72 Mio. t C/Jahr) abzüglich der jährlich durch Verrottung freigesetzten C-Menge (46 Mio. t C/Jahr)

¹¹⁾ Jährlicher Einschlag (Kauppi, persönliche Mitteilung) bei Verbleib von 50 % des Kohlenstoffs im Wald

Quelle: Apps u. a. 1993

Tabelle 6.5

Kohlenstoffspeicherung und -flüsse in den Wäldern der gemäßigten Breiten

Region	Waldfläche (Mio. ha)	Lebende Biomasse (Mrd. t C)	Gesamter C-Pool (Mrd. t C)	Nettoprimär- produktion (Mio. t/Jahr)	Netto- aufnahme (Mio. t/Jahr)	C-Entnahme in Nutzholz (Mio. t/Jahr)
Australien	39,8	2,3	6,9	60	12	
Weißrußland	6,3	0,4	1,2	9	2	2
Kanada (Ost) ¹⁾	26,8	1,0	3,9	10 ²⁾	2	5
Chile	7,5 ³⁾	0,4	1,2	11	2	
China	45,0 ³⁾	2,6	7,8	67	13	
Europa ⁴⁾	90,0 ³⁾	5,1	15,3	135	27	25
Japan	24,7	1,4	4,2	37	7	
Neuseeland	7,5	0,4	1,2	11	2	3
Rußland	100,0 ³⁾	5,7	17,1	150	30	14
Ukraine	9,2	0,5	1,5	14	3	3
USA ⁵⁾	243,2	13,9	38,5	388	105	140
Total	600,0	33,7	98,8	892	205	192

¹⁾ Kurz u. a. (1992), ohne 130 Mio ha temperierter Wälder in Westkanada

²⁾ Inklusive Störungen wie Waldbrände u. ä.

³⁾ Kauppi, persönliche Mitteilung (1993)

⁴⁾ Ohne temperierte Wälder in Skandinavien und in der ehemaligen Sowjetunion

⁵⁾ Birdsey (1992), ohne Alaska und Hawaii

Quelle: Heath u. a. 1993

seakkumulation um 25 % geführt hat (Kauppi u. a. 1992). Neben einer Änderung der Bewirtschaftungsform (produktivere Baumarten, intensivere Pflege u. a.) ist dieser Trend vor allem auf den Eintrag luftgetragener Nährstoffe (vornehmlich Stickstoff und Schwefel) in die Waldökosysteme zurückzuführen (Kauppi u. a. 1992, Burschel u. a. 1993, Burschel 1993).

Ein Anhalten dieser Zuwachssteigerungen ist mittelfristig nicht zu erwarten, da der mit der Luftverschmutzung verbundene Stickstoffeintrag (in Mitteleuropa bis zu 80 kg N/ha/Jahr) mit der Zeit zu einem Mangel an anderen Nährstoffen (z. B. Mg, Ca und Zn) führt. Zudem werden die Pflanzen anfälliger für Trockenheit, Frost und Krankheiten (Heath u. a. 1993). Eine Schädigung der Wälder wird ferner durch andere anthropogene Einflüsse, wie hohe bodennahe Ozonkonzentration, fortschreitende Bodenversauerung und Schwermetallbelastung, hervorgerufen.

Das zu erwartende Ausmaß und die Schnelligkeit der zukünftigen Klimaänderung wird zu einer Verringerung des Kohlenstoffpools in den Wäldern der gemäßigten Breiten führen, da sie die natürlichen Anpassungsmöglichkeiten der Ökosysteme übersteigen. Bis zur Mitte des nächsten Jahrhunderts könnte die Netto-Kohlenstoffemission bis zu 2 Mrd. tC/Jahr betragen (Heath u. a. 1993). Daß die Wälder der gemäßigten Breiten ihre aktuelle Senkenfunktion aufgrund eines starken CO₂-Düngeeffektes auch in Zukunft beibehalten werden, erscheint dagegen unwahrscheinlich (vgl. Kap. 5).

6.2.2 Ökozonen ohne Waldbedeckung

Tundra

Der fließende Übergang zwischen den borealen Wäldern und der Tundra erschwert eine genaue Abschätzung der geographischen Verbreitung dieser überwiegend durch Krautfluren gekennzeichneten Vege-

tationsform. Insgesamt dürften etwa 600 bis 1 180 Mio. ha von Tundren eingenommen werden, in denen zwischen 61 und 107 Mrd. tC überwiegend in Form von Bodenumus gespeichert sind (Tab. 6.6).

Untersuchungen von Oechel u. a. (1993) deuten darauf hin, daß die Veränderungen der Temperatur und des Niederschlagsregimes bereits heute zu einer Absenkung des Grundwasserspiegels und zu einer verstärkten heterotrophen Respiration geführt haben. Rechnet man die in Alaska ermittelte Kohlenstoffbilanz hoch auf die gesamte Tundra, so ergibt sich netto eine Freisetzung von 0,17 Mrd. tC/Jahr. Andere Autoren gehen dagegen von einer rezenten Senkenfunktion der Tundra aus, die sich im Zuge der Klimaänderung in ein Quelle von 0,5 bis 0,7 Mrd. tC/Jahr (nur Rußland) wandeln kann (Vinson und Kolchugina 1993).

Die Erwärmung des Klimas hat nicht nur den erhöhten mikrobiellen Abbau der organischen Substanz zur Folge, sondern führt zudem durch das tiefgründigere Auftauen der Permafrostböden zu einer verstärkten Methanemission.

Steppen, Savannen und Wüsten

Charakteristisch für diese drei Ökosysteme ist die unmittelbare Abhängigkeit der Kohlenstoffeinspeicherung vom Niederschlagsregime. Andere Einflußfaktoren wie die Temperatur und die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre wirken sich nur sekundär aus. Die im Boden gespeicherte Kohlenstoffmenge überwiegt bei weitem die der oberirdischen Biomasse. Der gesamte Kohlenstoffpool wird auf 417 Mrd. tC geschätzt. Unter den heute herrschenden Bedingungen nehmen die Steppen, Savannen und Wüsten netto insgesamt etwa 0,6 Mrd. tC/Jahr auf. Die Senkenstärke wird sich jedoch unter veränderten Klimabedingungen reduzieren und kann zu einer Netto-Emission von bis zu 0,3 Mrd. tC/Jahr innerhalb der kommenden 50 Jahre führen (Ojima u. a. 1993).

Tabelle 6.6

Geographische Verbreitung, Kohlenstoffspeicherung und -bilanz in der Tundra

	Gebiet (Mio. ha)	C-Pool (Mrd. t C)	C-Bilanz (Mrd. t C/Jahr)
Nordamerika	240 ¹⁾ zu 420 ²⁾	41 ¹⁾ zu 22 ³⁾	
Rußland	226 ¹⁾ zu 624 ²⁾	59 ⁴⁾ zu 32 ³⁾	
Skandinavien	63 ³⁾	3 ³⁾	
Andere	70 ³⁾	4 ³⁾	
Gesamt	600 zu 1 180	107 zu 61	-0,17 ⁵⁾

1) Kurz u. a. (1992)
2) Nach BIOME-Modell (Prentice u. a. 1993; Leemans, persönliche Mitteilung)
3) C-Dichte nach Shaver u. a. (1993), Fläche wie in 2)
4) Kolchugina und Vinson (1993)
5) Oechel u. a. 1993; andere Autoren gehen von einer Senkenfunktion der Tundra aus (z. B. Kolchugina und Vinson)
Quelle: Apps u. a. 1993

Übergangsbereiche zwischen Wasser und Land

Unter diesem Begriff werden verschiedene aquatische Ökosysteme wie Sümpfe, Ästuar und Marschen zusammengefaßt. Diese speichern zum Teil große Mengen an Kohlenstoff und spielen daher trotz ihrer relativ geringen räumlichen Ausdehnung im globalen Kohlenstoffhaushalt eine bedeutende Rolle. Ihre aktuelle Senkenstärke wird auf 0,2 Mrd. tC/Jahr geschätzt. Eine Prognose der zukünftigen Entwicklung ist aufgrund des geringen Kenntnisstandes über die Stoffströme innerhalb dieser Ökosysteme bislang kaum möglich (Downing u. a. 1993).

6.2.3 Fazit

Der bisherige Kenntnisstand über die Rolle der Biosphäre im globalen Kohlenstoffkreislauf spricht eher gegen eine starke aktuelle terrestrische Kohlenstoffsenke. Zwar entziehen die meisten Landökosysteme der Atmosphäre mehr Kohlenstoff als sie über die heterotrophe Respiration freisetzen, doch wird diese positive Bilanz überlagert von den negativen Folgen des Landnutzungswandels in den Tropen. Die globale biosphärische Kohlenstoffbilanz wird, vorbehaltlich der immer noch großen Wissenslücken, auf -1,4 bis +0,9 Mrd. tC/Jahr geschätzt (Sampson u. a. 1993). Die obere Marge ist dabei aufgrund des schlechten Zustandes der Wälder in der ehemaligen Sowjetunion, deren Senkenstärke mit 530 Mio. tC/Jahr wohl zu hoch angesetzt ist, unwahrscheinlich. Insgesamt

untermauert die angegebene Größenordnung die Annahme, daß die Biosphäre sich aktuell annähernd kohlenstoffneutral verhält, wahrscheinlich sogar netto eine Quelle darstellt.

Die absehbaren ökologischen, ökonomischen und demographischen Veränderungen im Verlaufe der kommenden Jahrzehnte werden aus der Biosphäre eine eindeutige Kohlenstoffquelle machen, wenn keine einschneidenden Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Auffällig ist, daß dabei den direkten anthropogenen Störungen (Brandrodung u. a. nicht nachhaltige Wirtschaftsformen, Schadstoffeintrag, anthropogene Erhöhung der Feuerintensität usw.) für die meisten Biome eine größere Wirksamkeit eingeräumt wird als den indirekten, wie der Veränderung des Klimas und der Atmosphärenchemie (Sampson u. a. 1993). Insgesamt werden — wenn die Tropenwaldvernichtung und die Emissionen klimarelevanter Spurengase nicht drastisch eingedämmt werden — die bis zur Mitte des nächsten Jahrhunderts aus der Biosphäre freigesetzten Kohlenstoffmengen auf bis zu 4,2 Mrd. tC/Jahr geschätzt. Dies wäre mehr als die Hälfte der gesamten Kohlenstoffemission des Jahres 1992.

6.3 Möglichkeiten zur zusätzlichen Kohlenstoffeinbindung im Bereich der Forst- und Holzwirtschaft

Die bisherigen Ausführungen haben gezeigt, daß der anthropogene Einfluß auf die Biosphäre einen maß-

Tabelle 6.7

Aktuelle und zukünftige Kohlenstoffflüsse in der terrestrischen Biosphäre bei einer CO₂-Verdopplung unter verschiedenen Management-Szenarien

Ökosystem	Aktuelle C-Bilanz	Zukünftige C-Bilanz bei 2 x CO ₂ Klima	Zukünftige C-Bilanz bei optimiertem Management (2 x CO ₂ Klima)	CO ₂ -Reduktionspotential durch energetische Nutzung von Biomasse (2 x CO ₂ Klima)
	(A)	(B)	(C)	(D)
	(Pg C yr ⁻¹)			
Tundra/Boreale Wälder	+0,5 bis +0,7 ¹⁾	-1,0 bis -0,5 ²⁾	0	
Temperierte Wälder	+0,2 bis +0,5	-2,0 bis +2,0	+0,3 bis +2,0	+0,1 bis +0,9
Tropische Wälder ³⁾	-2,2 bis -1,2	-1,0 bis -0,5	-0,5 bis 0	0 bis +0,2
Steppen, Savannen und Wüsten	0 bis +0,6	-0,3 bis +0,1	+0,1 bis +0,5	+0 bis +0,3
Agrarökosysteme	-0,1 bis +0,1	0,0 bis +0,1	0,0 bis +0,3	+0,4 bis +2,4
Feuchtgebiete	+0,2	+0,1	+0,2	
Gesamt	-1,4 bis +0,9	-4,2 bis +1,3	-0,1 bis +3,0	+0,5 bis +3,8

+ = Senke; - = Quelle

¹⁾ Basiert auf der Annahme einer 530 Mio. t C/Jahr starken Senke in den Wäldern der ehemaligen Sowjetunion. Dies erscheint aufgrund des dortigen, zum Teil katastrophalen Waldzustandes überhöht

²⁾ Während der Übergangszeit (50 bis 100 Jahre). Langfristig (200 bis 1 000 Jahre) kann sich wieder eine C-Senke bilden, sofern sich das Klima stabilisiert

³⁾ Nur durch Landnutzungswandel ausgelöste C-Flüsse

Quelle: Sampson u. a. 1993

geblichen Faktor im globalen Kohlenstoffkreislauf darstellt und der Mensch durch Landnutzungswandel und Waldnutzung den Kohlenstoffpool der Biosphäre erheblich reduziert hat. Vor dem Hintergrund der Klimaproblematik gilt es, diesem Trend durch gezielte Maßnahmen entgegenzuwirken. Erste Priorität müssen dabei alle Maßnahmen einnehmen, die zum Schutz der bestehenden Wälder beitragen. Auf sie wird vor allem im Kapitel 7 ausführlich eingegangen. Ein weiteres Potential liegt in einer Erhöhung der Kohlenstoffbindung in der Biosphäre bzw. der Verbesserung der Kohlenstoffbilanz der Forst- und Holzwirtschaft. Wie in Tabelle 6.7 wiedergegeben, stellen das unter CO₂-Gesichtspunkten optimierte Ökosystemmanagement und die energetische Nutzung von Biomasse global ein erhebliches CO₂-Reduktionspotential dar. Inwieweit dieses Potential umgesetzt werden kann, soll im folgenden genauer betrachtet werden.

Zur Verbesserung der Kohlenstoffbilanz bieten sich in der Forst- und Holzwirtschaft grundsätzlich die folgenden Handlungsfelder:

- Die Ausweitung der Waldflächen durch Aufforstungsmaßnahmen
- Die Erhöhung der Biomassendichte in den Wäldern
- Eine Vergrößerung der in Holzprodukten gespeicherten Kohlenstoffmenge sowie die Substitution energieintensiver Materialien durch Holz
- Ersatz fossiler Energieträger durch Holz und Holzabfälle

Darüber hinaus kann die Forstwirtschaft dazu beitragen, die Anpassungsmöglichkeiten der Waldökosysteme an die klimatischen Veränderungen zu verbessern und damit das Auftreten klimabedingter Waldschäden zu vermindern.

Es ist jedoch zu bedenken, daß einige dieser Maßnahmen — zum Beispiel die Verlängerung der Umtriebszeiten oder die Erhöhung der Biomassendichte in den Wirtschaftswäldern — das Holzangebot verringern bzw. die Betriebssicherheit der Forstunternehmen nachteilig beeinträchtigen können.

6.3.1 Potentiale zur Kohlenstoffbindung durch Aufforstung nichtbewaldeter Flächen

Die aktuelle jährliche Aufforstungsrate beträgt weltweit maximal rund 2,6 Mio. ha und liegt damit weit unter der Vernichtungsrate von rund 15 Mio. ha/Jahr (FAO 1993b). Dies verdeutlicht, daß im Vordergrund aller Überlegungen der Erhalt bestehender Waldflächen stehen muß. Darüber hinaus ist eine drastische Steigerung der Aufforstungsflächen anzustreben, um

- die Netto-Waldverluste zu reduzieren,
- den biosphärischen Kohlenstoffpool zu vergrößern bzw. dessen Abnahme zu vermindern und dabei
- die ökologischen und ökonomischen Bedingungen für die lokale Bevölkerung zu verbessern.

Eine der Grundvoraussetzungen für erfolgreiche Aufforstungsmaßnahmen ist die Verfügbarkeit geeigneter Flächen. Darüber hinaus sind die sozialen, ökonomischen und administrativen Rahmenbedingungen entscheidend, die in der Regel das realisierbare Aufforstungspotential erheblich einschränken.

Zahlreiche Autoren haben versucht, die potentiell für Aufforstungen zur Verfügung stehende Fläche abzuschätzen (Tab. 6.8). Die großen Schwankungsbreiten zwischen 150 und 1 200 Mio. ha verdeutlichen, daß es keine allgemein festgelegten Kriterien für die Flächenermittlung gibt. In der Regel handelt es sich um grobe Schätzungen, die das theoretische Potential ausweisen, ohne auf Einschränkungen, wie zum Beispiel mangelnde Standortqualität, fehlende administrative Voraussetzungen, wachsenden Bedarf an Ackerflächen etc., einzugehen. Lediglich Trexler (1991) bzw. Bekkering (1992) weisen unter Berücksichtigung der sozialen, ökologischen und ökonomischen Einschränkungen für die Tropen ein Flächenpotential von etwa 384 Mio. ha bzw. 385 bis 553 Mio. ha aus. Wichtig ist in diesem Zusammenhang ferner, daß zumeist nicht unterschieden wird zwischen Wiederaufforstung (nach Ein- bzw. Kahlschlag) und Erstaufforstung (lange Zeit unbewaldeter Flächen) (FAO 1993c). Nur letztere führt zu einer Ausweitung der Waldfläche.

Erhebliche Differenzen treten auch bei der Abschätzung der Kohlenstoff-Einbindungspotentiale auf. Diese sind im wesentlichen abhängig von der Baumartenwahl, den Standortbedingungen sowie dem Management. Besonders hohe Werte basieren auf den Erfahrungen mit intensiv bewirtschafteten Plantagen. Diese sind aus ökologischer Sicht kritisch zu beurteilen, sofern sie nicht in dauerhafter und umweltverträglicher Form bewirtschaftet werden. Zudem ist hierbei zu beachten, daß oft ein nicht unbeträchtlicher Aufwand an Energie (Düngung, Maschineneinsatz u. ä.) die Netto-C-Bilanz erheblich reduzieren kann.

Legt man die in Tab. 6.8 und 6.9 wiedergegebenen Werte zugrunde, so ergibt sich ein maximales Kohlenstoff-Einbindungspotential im Bereich von 1 bis 7,5 Mrd. tC/Jahr. Dieses zunächst theoretische Potential wird jedoch erheblich eingeschränkt durch eine Reihe regionsspezifischer Hemmnisse. So zeigen bisherige Erfahrungen in den Tropen, daß dort zwar große Flächenpotentiale zur Aufforstung existieren, diese allerdings aufgrund des hohen Bedarfs an landwirtschaftlichen Flächen, unklarer Besitz- und Nutzungsrechte, fehlender Infrastruktur sowie einem starken Mangel an Fachpersonal kaum für Aufforstungen genutzt werden können. Zudem fehlt in der Regel eine funktionierende Forstverwaltung, die eine der Grundvoraussetzungen für die erfolgreiche Aufforstung und Erhaltung von Wäldern darstellt (BFH 1993). Ein weiterer hemmender Faktor sind die mitunter hohen Kosten, die nur zu einem Bruchteil durch das Anpflanzen der Bäume verursacht werden (ca. 400 bis 500 US-\$/ha). Ein fünf- bis zehnmal höherer Betrag muß für die Pflege, den Schutz und die Überwachung der Anpflanzungen veranschlagt werden. Dagegen ist es wesentlich günstiger und entwicklungs- wie auch klimapolitisch wirkungsvoller, durch gezielte Projekte, etwa zur nachhaltigen Bewirtschaftung der

Abschätzungen der Flächenpotentiale für Aufforstungen in Mio. ha

Global	Boreal	Temperiert	Tropen	Sonstige	Quelle
600—1200	100—200	200—400	300—600		Winjum u. a., 1992
150— 900		100—200			Hall, 1993
465					Sedjo/Solomon, 1989
			110		Postel/Heise, 1988
			1 079 ¹⁾	100 (Außertropen)	Houghton, 1991
	102				Krakina/Dixon, 1993
			384 ²⁾		Trexler, 1991
				26—81 (nur USA)	Sampson/Hair, 1993
			385—553 ³⁾		Bekkering, 1992
500—1 025	50—150	50—125	400—750		Houghton, 1992
				65—85 (nur GUS)	Schwidenko, 1993
				2— 4 (nur BRD)	Burschel, 1993

¹⁾ 579 Mio. ha degradierte Flächen mit Aufforstungspotential für Plantage sowie 500 Mio. ha Flächen mit Aufforstungspotential im Rahmen einer Agroforstwirtschaft

²⁾ Unter Berücksichtigung sozialer, ökologischer und ökonomischer Einschränkungen

³⁾ Nur tropische Länder, in denen nach Berechnung des zukünftigen Bedarfs an landwirtschaftlicher Nutzfläche mindestens 10 Mio. ha übrigbleiben

Randzonen tropischer Urwälder, deren fortschreitende Zerstörung einzudämmen.

Auch in den gemäßigten und nördlichen Breiten sind die Möglichkeiten zur Ausdehnung der Waldfläche beschränkt. Zwar stehen hier aufgrund der derzeitigen Überproduktion in der Landwirtschaft erhebliche Flächenpotentiale zur Verfügung. Erfolgt jedoch im Sinne einer nachhaltig betriebenen Landbewirtschaftung eine flächendeckende Extensivierung der Produktion, dann wächst der Landbedarf, so daß entsprechend weniger Flächen für die Aufforstung zur Verfügung stehen.

Außerdem sind Aufforstungen hier äußerst kostenintensiv. Für eine aus ökologischen Gründen erforderliche Aufforstung mit einheimischen standortgerechten Laubmischwäldern müssen beispielsweise in Deutschland bis zu 20 000 DM pro ha aufgewandt werden. Reine Nadelwälder erfordern etwa die Hälfte dieser Investition, sind jedoch aus ökologischen Gründen bedenklich (Hofmann 1993). Ökonomisch wie ökologisch am vorteilhaftesten sind Aufforstungen mit möglichst geringem pflegerischem Aufwand, bei denen die natürlichen Sukzessionsprozesse so weit wie möglich genutzt werden.

Im britischen Hochland und in Frankreich belaufen sich die Kosten pro Hektar auf etwa 2 000 bis 2 500 US-\$. In den USA müssen pro Hektar Aufforstung mit etwa 100 bis 400 US-\$ vergleichsweise geringe Beträge investiert werden (GTZ 1993). Ebenfalls muß in den gemäßigten Breiten, wo die subventionierte Landwirtschaft zu hohen Bodenpreisen führt, mit einem erheblichen Mehr an Mittelaufwand gerechnet werden, um Boden für Aufforstungszwecke zu erwerben und finanzielle Anreize bieten zu können, die das Interesse an Aufforstungsmaßnahmen erhöhen.

In den borealen Wäldern Rußlands und Kanadas werden die Flächenpotentiale für Aufforstungen sowohl durch den hohen Anteil von Moorflächen, die als wichtige Kohlenstoffsенke aus klimapolitischer Sicht erhalten werden müssen, als auch durch die mangelnde Infrastruktur und die erhöhte Feuergefahr durch menschliches Fehlverhalten eingeschränkt. Vor allem der Brandschutz und die mangelnde Infrastruktur sind hier ein erheblicher Kostenfaktor. Pro Hektar werden die notwendigen Investitionen auf durchschnittlich 1 500 bis 2 000 US-\$ geschätzt (BFH 1993). Zudem wachsen die Wälder in dieser Klima-

Tabelle 6.9

Kohlenstoff-Einbindungspotentiale in den verschiedenen Klimazonen in t C/ha x Jahr

Global	Boreal	Temperiert	Tropen	Sonstige	Quelle
	0,78	1,12	1,3		Winjum u. a., 1992
		ca. 5	11—12		Hall, 1993
6,2					Sedjo/Solomon, 1989
			6,8		Postel/Heise, 1988
			max. 5—7,5	3,5—10	Andrasko, 1990
	2—3	3—4 +10—30 ¹⁾	3— 7		Hofmann, 1993
	0,4—0,6	2,6—4	2— 5 ²⁾ 10—15 ³⁾ 7— 8 ⁴⁾		GTZ, 1993
				3,12 (nur USA)	Sampson/Hair, 1993
	0,25—0,8	0,7—4,0	1—12		BFH, 1993 a
	ca. 3 ⁵⁾				Schwidenko, 1993
		2—4	1,0—4,8		Burschel, 1993

- 1) C-Einbindung nach 50 Jahren
2) Natürliches Potential
3) Potential in Plantagen (Maximalwerte)
4) Aktuelle Meßwerte auf Versuchsparzellen
5) Inklusive Humusakkumulation im Boden

Tabelle 6.10

Kohlenstoff-Einbindungspotentiale durch Aufforstung

	Flächenpotential ¹⁾ in Mio. ha	Speicherpotential		
		t C/ha/Jahr ²⁾	Mrd. t C/Jahr	Mrd. t C/50 Jahre
Boreale Wälder	ca. 120	0,6 ± 0,2	0,07 ± 0,02	3,6 ± 1
Temperierte Wälder	ca. 180	3,0 ± 1,0	0,54 ± 0,2	27 ± 10
Tropische Wälder	ca. 430 ³⁾	4,5 ± 2,0	2,0 ± 0,9	100 ± 45
Gesamt	ca. 730		2,6 ± 1,1	130 ± 56

- 1) Als Größenordnung des zur Verfügung stehenden Flächenpotentials wurde der Mittelwert der in Tabelle 6.8 angegebenen Schätzungen verwendet
2) Zur Ermittlung des Kohlenstoff-Einbindungspotentials pro Hektar und Jahr wurden die Mittelwerte der in Tabelle 6.9 angegebenen Schätzungen verwendet. Im Falle der Tropenwälder wurden dabei Werte über 10 t C/ha/Jahr, die lediglich relativ kleinräumig in intensiv bewirtschafteten Plantagen erreicht werden, nicht berücksichtigt
3) Das in den Tropen für Aufforstungen zur Verfügung stehende Flächenpotential wird durch den wachsenden Landbedarf für landwirtschaftliche Zwecke und andere Faktoren erheblich eingeschränkt und dürfte unterhalb des hier angegebenen Wertes liegen

zone zumindest auf den in einigen Ländern häufig degradierten, nicht ausreichend bestockten Waldflächen sehr langsam, benötigen also lange Zeiträume, um größere Kohlenstoffmengen einzubinden.

Von entscheidender Bedeutung für den Erfolg von Aufforstungen und deren CO₂-Minderungseffekt werden Ausmaß und Geschwindigkeit zukünftiger Klimaänderungen sein (vgl. Kap. 5). Da regionalspezifische Vorhersagen des zukünftigen Wettergeschehens bislang kaum möglich sind, müssen bei der Anlage neuer Wälder genetische Vielfalt und ökologische Stabilität im Vordergrund stehen. Diese Kriterien werden am besten von naturnahen Mischwäldern aus einheimischen Baumarten erfüllt. Schnellwachsende Reinbestände widersprechen dagegen dem ökologischen Stabilitätsprinzip.

Eine realistische Abschätzung des Kohlenstoff-Einbindungspotentials unter Einbeziehung ökologischer, ökonomischer, organisatorischer und sozio-kultureller Einschränkungen ist nach dem heutigen Wissensstand mit großen Unsicherheiten belastet. In Tabelle 6.10 wurde versucht, auf der Basis der in den Tab. 6.8 und 6.9 angegebenen Schätzungen die Kohlenstoff-Einbindungspotentiale grob abzuschätzen. Ohne Berücksichtigung politischer, organisatorischer und finanzieller Aspekte könnten demnach durch die Aufforstung der zur Verfügung stehenden Flächenpotentiale etwa 2,6 ± 1,1 Mrd. tC pro Jahr eingebunden werden. Dieses theoretische Potential verdeutlicht in etwa den Handlungsspielraum einer klimaorientierten Aufforstungsstrategie.

6.3.2 Erhöhung der Biomassendichte in bestehenden Wäldern

Die Forstwirtschaft kann durch verschiedene Maßnahmen zu einer Erhöhung der Biomassendichte in den bewirtschafteten Wäldern beitragen. Dies sollte unter der Voraussetzung einer größtmöglichen Naturnähe geschehen und sich streng an den jeweiligen ökologischen Standortbedingungen orientieren.

Die Kohlenstoffbilanz eines Waldes hängt direkt von seinem Entwicklungsstadium ab. Die Entwicklung eines natürlichen Waldes läßt sich in die Aufbau-, die Übergangs- und die Gleichgewichtsphase unterteilen. Eine positive Kohlenstoffbilanz tritt nur in der Aufbauphase auf, in der die Nettoproduktion an Biomasse deutlich über der Abbauproduktion der Zersetzer liegt. Danach sinkt der Kohlenstoffgehalt leicht ab und geht in ein dynamisches Gleichgewicht über (Abb. 6.3), das im Verlaufe der natürlichen Sukzession von einem katastrophalen Ereignis (z. B. Feuer, Schädlingsbefall, Einschlag etc.) abrupt beendet wird. Innerhalb kurzer Zeit verliert der Wald seine lebende Biomasse und der Zyklus beginnt von neuem.

Um diese Entwicklung unter ökonomischen Aspekten optimal zu nutzen, werden forstwirtschaftlich genutzte Wälder vor dem Reifestadium geerntet. Sie weisen daher in aller Regel höhere Biomassenzuwächse, aber eine geringere Kohlenstoffspeicherung als alte, natürliche Wälder auf. Durch eine Umstellung in der Bewirtschaftungsform kann die Kohlenstoff-

Einspeicherung jedoch aus CO₂-ökologischen Gesichtspunkten optimiert werden, wenngleich die notwendigen Maßnahmen in der Regel kostenintensiv sind und die erzielbaren Erträge vermindern. Grundsätzlich bieten sich die folgenden Möglichkeiten.

- Eine Verlängerung der Umtriebszeiten.
- Das Anpflanzen im Unterbau älterer Bestände.
- Eine Veränderung der Baumartenzusammensetzung.
- Gezielte Bestandsbegründung und Durchforstung.

Der weitaus größte Effekt kann kurz bis mittelfristig durch eine Verlängerung der Umtriebszeiten erzielt werden. Im globalen Durchschnitt vergehen zwischen der Begründung und der Ernte von Wirtschaftswäldern meist 40 bis 100 Jahre. In Deutschland ist dieser Zeitraum mit etwa 100 Jahren bei den meisten Nadelhölzern und etwa 130 bis 170 Jahren bei den Laubbäumen etwas länger. Ließe man die Wälder länger stehen, so würden sie einmalig eine zusätzliche Menge an Kohlenstoff für einen bestimmten Zeitraum einbinden. Dieser Effekt beruht auf dem dann höheren Anteil alter, biomassereicher Bestände.

Schätzungen ergeben für Deutschland eine Erhöhung der in Wäldern gespeicherten Kohlenstoffmenge um 40 bis 100 Mio. tC innerhalb der nächsten 20 Jahre. Netto reduziert sich dieser Wert jedoch auf 10 bis 25 Mio. tC, da im gleichen Zeitraum weniger Holz zur Verfügung stünde, das in Form langlebiger Produkte, als Rohstoff oder als Energiequelle eine CO₂-Minderung bewirken kann (vgl. folgende Abschnitte). Da sich dieser „entgangene Nutzen“ mit der Zeit aufaddiert und zugleich die jährliche Zuwachsleistung der nun älteren Wälder zurückgeht, wären in 40 Jahren netto nur noch 3 bis 19 Mio. t Kohlenstoff einzubinden. Zu diesem Zeitpunkt stünde ein großer Teil der Wirtschaftswälder zur Nutzung an, so daß sich die Nettobilanz des Waldes in der Folgezeit ins Negative umkehren würde (–6 bis –45 Mio. tC) (Burschel u. a. 1993). Eine Verlängerung der Umtriebszeiten bringt also zumindest in Deutschland nur einen mittelfristigen Effekt. Diese Maßnahme kann jedoch unmittelbar umgesetzt werden. In anderen Gebieten kann eine Verlängerung der Umtriebszeit wesentlich größere Effekte bringen, zumal, wenn die Entwicklung des Bodenkohlenstoffs mit in Rechnung gestellt wird.

Eine weitere Möglichkeit zur Erhöhung der Biomassendichte in Wäldern stellt die Umpflanzung älterer Bestände dar, sofern dies den natürlichen Bedingungen angepaßt ist. Dies bietet sich vor allem an, wenn z. B. ein Wechsel von Nadel- auf Laubhölzer geplant ist. Neben der zusätzlich Kohlenstoffspeicherung im aufwachsenden Unterbau wirkt sich der verringerte Humusabbau nach der Ernte positiv auf den Humusgehalt der Böden aus.

Einen weiteren Beitrag stellt eine gezielt Bestandsbegründung und eine weitreichende Durchforstung von Jungbeständen dar. Dabei wirkt sich eine Verringerung der Pflanzenzahlen pro Hektar positiv auf die in Zukunft in langlebiger Biomasse gespeicherte Kohlenstoffmenge aus. Eine starke Durchforstung ver-

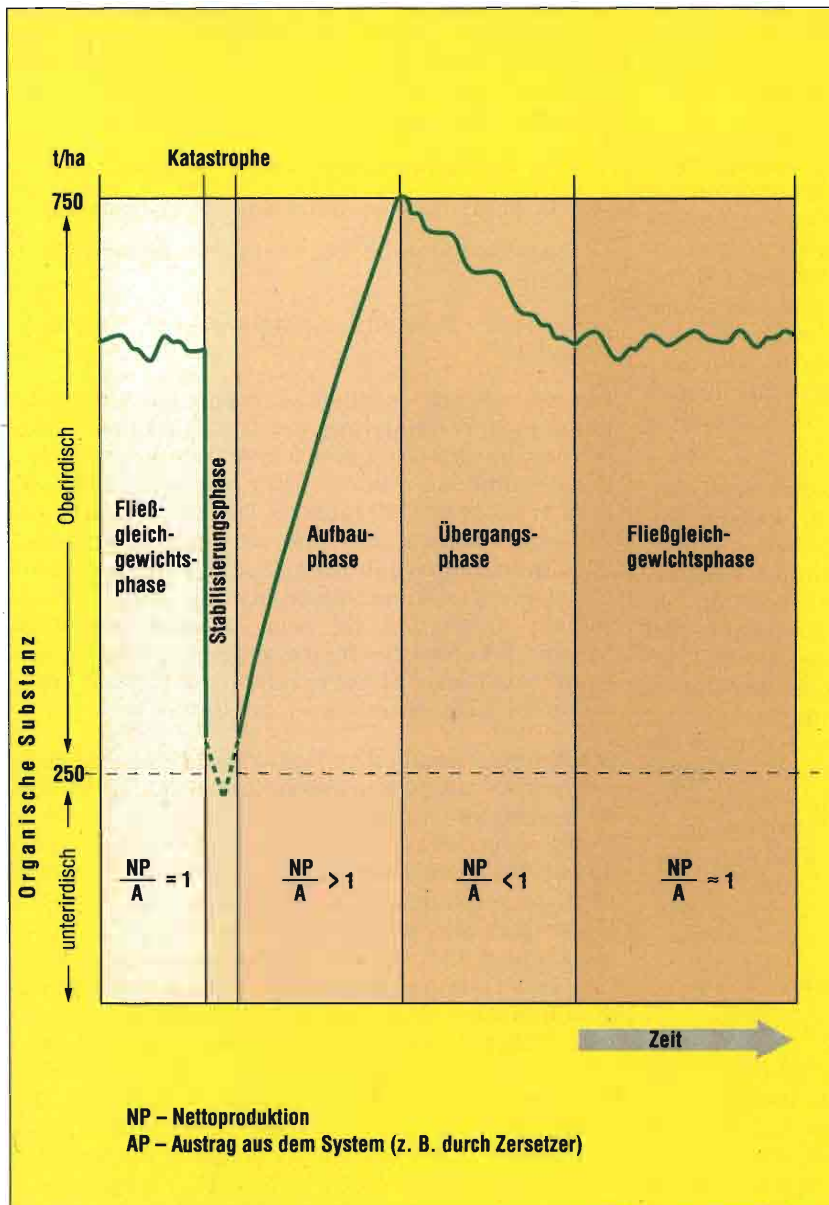


Abbildung 6.3: Entwicklungsphasen eines natürlichen Ökosystems, dargestellt an der Akkumulation toter und lebender organischer Substanz
 Quelle: Burschel 1993

stärkt diesen Trend und erhöht zudem die Menge energetisch nutzbaren Schwachholzes.

Insgesamt könnten in Deutschland durch ein Bündel aus diesen Maßnahmen bis zu 9 Mio. tC innerhalb der kommenden 40 Jahre eingebunden werden (Burschel u. a. 1993). Im Vergleich zur nationalen CO₂-Emission von etwa 1 Mrd. t CO₂ (ca. 250 Mio. tC) ist dieser Beitrag gering. Vor diesem Hintergrund erscheint es wichtiger, durch gezielte forstwirtschaftliche Maßnahmen (z. B. Wechsel von Reinbeständen fremder Arten zu einheimischen Mischbeständen u. ä.) die Anpassungsfähigkeit der Wälder an zukünftige Klimaänderungen zu erweitern und dadurch potentiellen CO₂-Emissionen durch eine Ausweitung klimabedingter Waldschäden entgegenzuwirken. Um diesen

langfristigen Erhalt des Kohlenstoffpools in den Wirtschaftswäldern zu sichern, muß als oberstes Prinzip eine möglichst naturnahe Bewirtschaftung gelten. An diesem müssen sich auch alle Maßnahmen zur Erhöhung der Biomassendichte orientieren.

6.3.3. Erhöhung der Kohlenstoffspeicherung in Holzprodukten und Ersatz energieintensiver Materialien durch Holz

Unter der Voraussetzung, daß die eingeschlagene Holzmenge die Zuwachsleistung nicht überschreitet, stellen die aus dem Ernteholz gefertigten Produkte einen Kohlenstoffpool dar, der als Nettosenke fungiert.

ren kann. Grundsätzlich werden zwar auch Holzprodukte in Verlaufe der Zeit zersetzt und der in ihnen gespeicherte Kohlenstoff wieder freigesetzt. Da dieser Prozeß jedoch bis zu mehrere Jahrhunderte in Anspruch nehmen kann, ist es möglich, den Kohlenstoffpool in Holzprodukten sukzessive zu vergrößern und dadurch eine Senke zu schaffen. Eine Voraussetzung dafür ist ein möglichst hoher Anteil von langlebigen Produkten (Möbel, Bauelemente usw.), die Jahrzehnte lang den in ihnen gespeicherten Kohlenstoff fixieren.

Die Möglichkeiten zur Schaffung einer Produktsenke werden wie folgt eingegrenzt. Geht pro Jahr genauso viel Holz in Produkte ein, wie gleichzeitig als ausgediente Produktmenge verrottet, ist die Kohlenstoffbilanz ausgeglichen. Entsprechend entsteht eine Senke nur, wenn die jährliche Produktmenge tendenziell ansteigt. Das heißt, daß die Holzentnahme aus den Wäldern sich ebenfalls erhöht. Oberste Grenze ist dann die jährliche Zuwachsleistung. Wird sie überschritten, nimmt der Produktspeicher zu Lasten des

Waldspeichers zu und die gesamte Kohlenstoffbilanz verschlechtert sich. Vor diesem Hintergrund ist es unter Klimagesichtspunkten von erheblicher Bedeutung, die Abfallmenge der Holzprodukte möglichst gering zu halten. Dies ist zum Beispiel durch die Recyclingung von Altpapier und die Vermeidung von Einwegartikeln aus Papier, Pappe und Zellstoff möglich. Zur Zeit wächst jedoch die Menge des Holzes, das zur Produktion kurzlebiger Einwegprodukte verwendet wird, weltweit an.

Außerdem wirken auch die Entwicklung des Holzmarktes und das Verbraucherverhalten auf die Menge der genutzten Holzprodukte ein, beeinflussen also direkt den Produktspeicher und machen die Ermittlung des Kohlenstoffeinbindungspotentials äußerst schwierig.

Daten über den aktuellen Produktspeicher liegen bislang nur für wenige Länder vor. Als Beispiele sind in der folgenden Auflistung die USA, Kanada und Deutschland aufgeführt.

Tabelle 6.11

**Kohlenstoff in Holzprodukten und Veränderungen
in den USA, Kanada und der Bundesrepublik Deutschland**

Land	Produktspeicher (Mio. t C)	Veränderung (Mio. t C/yr)	Beobachtungs- zeitraum	Quelle
USA	1 260	+36	1952—1987	Birdsey u. a. 1993
Kanada	600	+21	1986	Kurz u. a. 1992
Deutschland	128	+ 1	1963—1987	Burschel u. a. 1993

Besonders positiv auf die CO₂-Bilanz wirkt es sich aus, wenn die Holzprodukte als Ersatz für energieintensiv hergestellte Materialien (Stahl, Stahlbeton, Aluminium etc.) eingesetzt werden. Hierbei ist jedoch nicht nur die zur Herstellung der Baustoffe eingesetzte Energiemenge zu betrachten, sondern auch der Verbrauch — etwa in Form von Heizwärme — über die Betriebsdauer hinweg sowie die Energie für den Abbruch und die Entsorgung des Bauschutts. Die folgende Tabelle zeigt am Beispiel einer Lagerhalle, daß durch den Einsatz von Holz erhebliche Energiemengen eingespart werden können.

Die eingesparte CO₂-Menge hängt vor allem davon ab, welcher fossile Energieträger ersetzt wurde. Sie liegt bei Kohle am höchsten und bei Erdgas am niedrigsten. Nimmt man für das oben genannte Beispiel einen durchschnittlichen Wert von 0,11 kg C/kWh an, so würden durch den Einsatz von Holz rund 40 tC (gegenüber Stahl) und etwa 80 tC (gegenüber Stahlbeton) eingespart (Tab. 6.12). Dies gilt jedoch nur für die Verwendung von Schnittholz. Die häufig im Bauwesen eingesetzten Span- oder Faserplatten weisen dagegen eine deutlich schlechtere Energiebilanz auf (Burschel 1993).

Tabelle 6.12

**Energieaufwand für Herstellung, Betrieb und Abbau
von Lagerhallen aus Holz, Stahl und Stahlbeton**

Verwendungsbereich	Energieaufwand (1000 kWh)		
	Holz	Stahl	Stahlbeton
Baustoffproduktion	330	630	826
Transporte	60	60	121
Betrieb (20 Jahre)	1 000	1 075	1 139
Abbruch	90	62	137
Summe	ca. 1 500	ca. 1 800	ca. 2 200
C-Emission ¹⁾ (t) ..	ca. 160	ca. 200	ca. 250

¹⁾ Die durchschnittliche C-Emission liegt bei 0,11 kg C/kWh (EK 1990 b)

Quelle: Burschel 1993

6.3.4 Ersatz fossiler Energieträger durch Holz aus nachhaltiger Bewirtschaftung

Setzt man forstliche Biomasse als Energiequelle ein, wird zwar der gesamte gespeicherte Kohlenstoff unmittelbar wieder freigesetzt. Im Rahmen einer nachhaltig betriebenen Forstwirtschaft wird diese CO₂-Menge jedoch von den nachwachsenden Wäldern aufgenommen und die Kohlenstoffbilanz wieder ausgeglichen. Ein positiver Effekt wird erreicht, wenn die Biomasse an Stelle fossiler Energieträger verwendet wird. Noch günstiger wird dieser Effekt, wenn das im Forstbetrieb anfallende Schwachholz und die Holzabfälle, die durch mikrobiellen Abbau ohnehin in relativ kurzer Zeit in Kohlendioxid umgewandelt werden, ebenfalls energetisch genutzt werden.

Diese Effekte können jedoch durch das Verhalten des bodengebundenen Kohlenstoffs vermindert oder gar kompensiert werden. Vor allem in den gemäßigten Breiten wurde festgestellt, daß sich nach einer Rodung über mehrere Jahrzehnte hinweg der Kohlenstoffgehalt der Böden in einer wiederaufgeforsteten Fläche verringerte. Die C-Verluste im Boden überstiegen dabei die C-Einlagerung in der Phytomasse, so daß der Gesamtkohlenstoffgehalt im Ökosystem in den ersten 50 Jahren nach dem Einschlag stetig abnahm (Kawaguchi und Yoda 1986). Die energetische Nutzung von Holz erscheint vor diesem Hintergrund nur bedingt kohlenstoffneutral. Am günstigsten ist nach Berechnungen von Ahamer u. a. (1992) und Ahamer (1993) die Kohlenstoffbilanz bei der Nutzung von Abfallholz (Äste, Zweige, Rinde).

Bereits heute werden in verschiedenen Industrieländern relevante Anteile des Energiebedarfs durch den Einsatz von Holz und Holzabfällen abgedeckt. In Finnland sind dies 17 % (Pelkonen 1993), in Schweden 16 %, in Österreich 10 % und in den USA 4 % (Hall 1993). Besonders effektiv ist es, wenn holzverarbeitende Betriebe selbst ein Heizkraftwerk auf Biomassebasis betreiben und die selber nicht verwendete Energie in ein öffentliches Netz einspeisen. Mit Holz und organischen Rückständen betriebene dezentrale Heizkraftwerke können auch von der öffentlichen Hand (insbesondere von Kommunen) betrieben werden.

Die energetische Nutzung von Holz wird häufig als wirksamster forstwirtschaftlicher Beitrag zur Verringerung der CO₂-Emissionen angesehen (Hall 1993). Bei der direkten Verbrennung können pro Hektar und Jahr bis zu 10 tC aus fossilen Energieträgern eingespart werden (Sampson und Hair 1993). Burschel (1993) schätzt das Substitutionspotential auf 175 tC/ha in einem Zeitraum von 50 Jahren.

Derartig hohe Werte basieren auf der Anlage von Plantagen aus schnellwachsenden Baumarten wie Weiden, Pappeln und Eukalyptus, die in kurzem Umtrieb — drei bis zehn Jahre — geerntet werden. Diese intensive Bewirtschaftungsform erfordert standortabhängig einen hohen Energieeinsatz in Form von Düngemitteln, Transport- und Verarbeitungsenergie. Zudem geht ein beträchtlicher Teil des Bodenhumus verloren, was die Bodenfruchtbarkeit nachhaltig verringert und zur Freisetzung erheblicher CO₂-Mengen

führt. Die Nettobilanz dürfte daher deutlich unter den o. g. Werten liegen. Plantagen sind zudem mit erheblichen ökologischen Risiken behaftet und werden den multifunktionalen Ansprüchen an Wälder nicht gerecht. Sie sollten daher nur kleinflächig angelegt werden. Anzustreben ist die energetische Nutzung von Holz und Holzabfällen auf der Basis einer nachhaltigen und ökologisch verträglichen Waldbewirtschaftung. Dadurch wird das Substitutionspotential deutlich reduziert, eine genaue Quantifizierung ist nicht möglich.

6.3.5 Fazit

Die Forst- und Holzwirtschaft kann dazu beitragen, den biosphärischen Kohlenstoffpool zu vergrößern und die CO₂-Emissionen zu verringern. Eine quantitative Abschätzung dieses Potentials ist auf der Basis des aktuellen Wissensstandes sehr unsicher. Der größte Teil dürfte auf die Aufforstung seit langer Zeit nicht bewaldeter Flächen entfallen (2,6 ± 1,1 Mrd. tC/Jahr). Durch den Einsatz von Holz zur Energiegewinnung könnten weitere 0,1 bis 1,0 Mrd. tC eingespart werden, sofern dies im Rahmen einer naturnahen, nachhaltigen Forstwirtschaft geschähe.

Eine weitere Möglichkeit zur CO₂-Reduktion ist, neben einer veränderten Bewirtschaftungsform der Wälder, der verstärkte Einsatz von Holz zur Herstellung langlebiger Produkte und zur Substitution energieintensiver Materialien (Aluminium, Stahlbeton u. ä.). Es muß bedacht werden, daß der verstärkte Holzeinsatz in starkem Maße eingegrenzt wird durch die künftig anzustrebende umweltgerechte, nachhaltige Bewirtschaftung aller Wälder. Diese könnte tendenziell zu einer Verknappung der zur Verfügung stehenden Holzvorräte führen.

Die Umsetzung der oben genannten CO₂-Reduktionspotentiale unterliegt erheblichen Einschränkungen:

- Die momentane potentielle Senkenstärke der Biosphäre ist nicht genau zu bestimmen. Die jüngsten Schätzungen von Apps u. a. (1993) liegen wahrscheinlich zu hoch, da die Kohlenstoffaufnahme der borealen Wälder aufgrund des katastrophalen Waldzustandes in Teilen der ehemaligen Sowjetunion unter den angenommenen 0,7 Mrd. tC/Jahr liegen dürfte. Damit würde sich die aktuelle Senkenstärke der gesamten Biosphäre deutlich vermindern.
- Gezielte Maßnahmen zur Verbesserung der Kohlenstoffbilanz in der Forst- und Holzwirtschaft erfordern die Schaffung geeigneter ökonomischer, sozio-kultureller, politischer und forstadministrativer Rahmenbedingungen. Diese sind zur Zeit in weiten Teilen der Tropen und der borealen Zone nicht gegeben.
- Forstwirtschaftliche Maßnahmen zur CO₂-Reduktion müssen der Multifunktionalität der Wälder Rechnung tragen und sich am Prinzip der ökologischen Nachhaltigkeit orientieren. Dadurch reduzieren sich die Möglichkeiten zur kurzfristigen

Tabelle 6.13

**Zusammenfassende Darstellung der aktuellen und möglichen Einflußnahme des Menschen
auf die Wälder und deren Kohlenstoffhaushalt**

	Aktueller Einschlag	Anteil der Einschlag- fläche/Jahr an der Fläche der nutzbaren Wälder ¹⁾	Aktuelle Bestands- entwicklung	Mögliche C-Emission ²⁾ bei 2 x CO ₂	Mögliche C-Einbindung durch Aufforstung	Mögliche zusätzliche C-Reduktion durch energetische Holznutzung ²⁾
	(Mio. m ³ /a)	(in %)	(Mio. ha/a)	(Mrd. t C/a)		
Boreale Wälder	630	ca. 0,5	– 0,7 ³⁾	1 bis 0,5	0,07 ± 0,02	—
Temperierte Wälder	1 100	ca. 2,5	+ 1,0 ⁴⁾	2 bis –2	0,54 ± 0,2	0,1 bis 0,9
Tropische Wälder	1 600	ca. 0,5	–17,0	1 bis 0,5	2,0 ± 0,9	0 bis 0,2
Gesamt	3 330	ca. 0,8	–16,7	4 bis –1	2,6 ± 1,1	0,1 bis 1,1

1) Die Regenerationszeit der Wirtschaftswälder beträgt in den borealen Wälder unter günstigen Bedingungen etwa 150 Jahre, in den temperierten Wäldern bei Nadelbäumen etwa 90 bis 120, bei Laubbäumen etwa 150 bis 220 Jahre und in den Tropen unter günstigen Bedingungen mindestens 60 bis 90 Jahre

2) Sampson u. a, 1993

3) Heinloth 1993

4) Nur USA (–0,3 Mio. ha/a im Zeitraum 1980 bis 1990) und Europa (+1,3 Mio. ha/a im Zeitraum 1980 bis 1990); nach UN-ECE/FAO 1992a

CO₂-Minderung etwa durch die großflächige Anlage intensiv bewirtschafteter Plantagen.

- Heutige Maßnahmen zur Vergrößerung des biosphärischen Kohlenstoffpools können in ihrer Wirksamkeit durch zukünftige politische, ökonomische und demographische Entwicklung sowie unter dem Einfluß des sich verändernden Klimas beeinträchtigt oder gar aufgehoben werden. Es ist damit zu rechnen, daß sich die CO₂-Emissionen aus der Biosphäre von heute etwa 1,6 ± 1,0 Mrd. tC/Jahr bis zur Mitte des kommenden Jahrhunderts auf bis zu 4 Mrd. tC/Jahr erhöhen. Diesem Trend kann mit forstwirtschaftlichen Mitteln nur teilweise entgegengewirkt werden.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, daß alle Bestrebungen, die zur Erhaltung bestehender Wälder beitragen, oberste Priorität haben müssen. Dazu gehören auch Aufforstungen und die Ausweitung agroforstwirtschaftlicher Nutzungssysteme in den Tropen, vor allem zur verbesserten Versorgung der wachsenden Bevölkerung mit Nahrungsmitteln. Darüber hinaus sind dringend forstwirtschaftliche Strategien zu entwickeln und umzusetzen, die eine bessere Anpassung der Wälder an nicht mehr zu verhindernde Klimaänderungen ermöglichen und zusätzliche CO₂-Emissionen als Folge klimabedingter Waldschädigungen vermindern. Hierin liegen die wichtigsten Aufgaben einer internationalen Kooperation im Forstbereich.

7. Bisherige Maßnahmen, Handlungsmöglichkeiten und Empfehlungen zum Schutz der Wälder

Vorbemerkung

Die bisherigen Strategien zum Schutz der Wälder waren durch eine Fokussierung auf die Tropenwälder gekennzeichnet. Internationale Bemühungen zum Schutz der Wälder in den gemäßigten und nördlichen Breiten spielten lange Zeit eine marginale Rolle. Diese Gewichtung wird dem globalen Problem der Waldvernichtung und -degradation nicht gerecht. Daher ist es zu begrüßen, daß die im Rahmen der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung verabschiedete Walder-

klärung und die Agenda 21 sowie die Resolutionen der Ministerkonferenz zum Schutz der Wälder Europas inzwischen eine Akzentverschiebung in der internationalen Waldschutzdiskussion andeuten. Aus Sicht der Enquete-Kommission ist damit ein Prozeß eingeleitet worden, der angesichts des drängenden Waldproblems beschleunigt werden muß. Vor diesem Hintergrund sowie angesichts der umfangreichen Handlungsempfehlungen, die die Enquete-Kommission in ihrem Bericht zum Thema „Schutz der tropischen Wälder“ (EK 1990a) bereits vorgelegt hat, wird

der Schwerpunkt im folgenden bei den Maßnahmen zum Schutz der Wälder in den gemäßigten und nördlichen Breiten liegen. Die Enquete-Kommission sieht vor allem in einer globalen partnerschaftlichen Kooperation, die sowohl die wichtige Rolle der Wälder als Basis für die wirtschaftliche und soziale Entwicklung in vielen Ländern als auch die nationale Souveränität in Fragen der Waldnutzung respektiert, die Grundlage für eine wirksame Strategie zum Schutz der Wälder in allen Klimazonen.

7.1 Situationsanalyse

Die Waldökosysteme sind Teil der gemeinsamen unverzichtbaren Lebensgrundlage der Menschheit. Sie sind von unersetzlicher Bedeutung

- für die Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen, einschließlich dem Schutz des Klimas und der Erhaltung der biologischen Vielfalt,
- für die ökonomische, ökologische und soziale Entwicklung der Staaten,
- als potentiell unerschöpfliche Quelle lebenswichtiger Rohstoffe und genetischer Ressourcen für den menschlichen Bedarf,
- als Lebensraum insbesondere für indigene Gesellschaften,
- für die Erhaltung der ländlichen Räume und die Sicherheit und Erweiterung der Erwerbsmöglichkeiten ihrer Bevölkerung,
- für die Befriedigung sozialer und kultureller Bedürfnisse der Menschen.

Sie haben darüber hinaus einen hohen Eigenwert, den es zu respektieren und aus ethischen Gründen zu erhalten gilt.

Der vielfältige Nutzen, den der Mensch aus den Wäldern zieht, wurde und wird häufig unterschätzt. Diese Fehleinschätzung fördert die fortschreitende Entwaldung sowie unangepaßte und daher degradierende Nutzungsformen und andere Belastungen, die zu einer Destabilisierung der Waldökosysteme führen. Ausmaß, Ursachen und Formen der Walddegradation und -vernichtung hängen dabei von den regionalspezifischen sozialen, wirtschaftlichen und ökologischen Rahmenbedingungen ab und sollen im folgenden entsprechend differenziert skizziert werden (vgl. Kap. 2 bis 4).

Die Wälder der gemäßigten Breiten sind am stärksten vom Menschen geprägt. Natürliche Bestände kommen nur noch vereinzelt auf kleinen Flächen vor. Jährlich werden etwa 2,5 % der Waldfläche eingeschlagen. Dies geschieht zumeist im Rahmen einer geregelten Bewirtschaftung ohne Waldverluste. Der starke anthropogene Einfluß hat jedoch zur großflächigen Ausbreitung von Altersklassenwäldern und Reinbeständen geführt, die zwar vergleichsweise rationell zu nutzen, jedoch ökologisch instabil und daher häufig mit hohem ökonomischem Risiko behaftet sind.

Die Waldfläche in der gemäßigten Zone nimmt zur Zeit tendenziell zu. In vielen Regionen sind die

Waldökosysteme jedoch durch Stoffeinträge, insbesondere Schwefeldioxid (SO₂), Stickstoffoxide (NO_x), Ammoniak (NH₃) und Ozon (O₃) belastet, die vor allem aus dem Energiebereich, dem Verkehrssektor und der Intensivlandwirtschaft stammen. Im Zusammenspiel mit anderen Faktoren, zum Beispiel klimatischen Einflüssen, Schädlingskalamitäten und Krankheitsbefall (oftmals aufgrund von Vorschädigungen), schädigt der seit Jahrzehnten andauernde Stoffeintrag die Pflanzen und Böden. Im westlichen Europa sind vor allem der hohe Stickstoffeintrag und die im Sommer auftretenden hohen bodennahen Ozonkonzentrationen von Bedeutung. Im östlichen Europa werden Waldschäden dagegen vor allem durch die Schwefeldioxidimmissionen hervorgerufen. In der Bundesrepublik Deutschland weisen 40 % der Waldflächen leichte und 24 % deutliche Schäden auf. In den Staaten der Europäischen Union sind insgesamt 34 % der Waldflächen leicht und 24 % deutlich geschädigt (vgl. Kap. 3). Die vorgeschädigten Waldbestände fallen vermehrt klimatischen Extremereignissen, vor allem Stürmen und Naßschneefall, zum Opfer. Ein weiteres Problem für die Wälder sind in einigen Regionen Europas die starken Wildverbisschäden, die die natürliche Verjüngung behindern.

Die Wälder in der nördlichen kaltgemäßigten, borealen Zone unterliegen einem zunehmenden und häufig ineffizienten Holzeinschlag, der regional erhebliche Übernutzungen und Degradationserscheinungen hervorruft. Zudem nimmt die von Bränden befallene Waldfläche zu. Die aktuelle Entwicklung der Waldbestände kann auf der verfügbaren Datenbasis nur mit Unsicherheiten abgeschätzt werden. Die nichtbestockte Waldfläche hat sich innerhalb der vergangenen Jahrzehnte erheblich vergrößert und umfaßt heute etwa 150 Mio. ha. Nur etwa ein Viertel davon sind vorübergehende Kahlflächen nach Holzeinschlag und Bränden. Der größte Teil wird, vor allem in der ehemaligen Sowjetunion, mangels Wiederaufforstung und aufgrund von Bodenschädigungen langfristig unbestockt bleiben. Darüber hinaus sind dort großflächige Degradationserscheinungen als Folge der immensen Schadstoffbelastung zu beobachten. Ungeachtet dieser großflächigen Devastierungen wird geschätzt, daß die Wälder und Moore der borealen Zone zur Zeit netto eine Kohlenstoffsénke darstellen. In Anbetracht des schlechten Waldzustandes, insbesondere in der ehemaligen Sowjetunion, dürfte die Nettoaufnahme 0,3 bis 0,5 Mrd. tC/Jahr nicht überschreiten.

In den Tropen führen in erster Linie die Ausweitung landwirtschaftlicher Nutzflächen und der nicht nachhaltige Holzeinschlag sowie des weiteren die industrielle Erschließung (z. B. Abbau von Bodenschätzen) zur fortschreitenden Vernichtung von Primärwäldern. Der Verlust betrug in den 80er Jahren durchschnittlich 15,4 Mio. ha pro Jahr, das sind etwa 0,8 % der Waldfläche in den Tropen. Hält diese Entwicklung an, so wird bis zur Mitte des nächsten Jahrhunderts die Hälfte der heute vorhandenen Tropenwälder vernichtet sein. Degradation und Waldvernichtung rufen gravierende ökologische Schäden hervor, zum Beispiel die Ausrottung einer Vielzahl von Tier- und Pflanzenarten, Bodenerosion, regionale Klimaänderungen etc. Diese Schäden verschlechtern die Lebens-

bedingungen der lokalen Bevölkerung und vermindern so den sozialen und wirtschaftlichen Nutzen. Darüber hinaus führt die fortschreitende Vernichtung tropischer Wälder zur Freisetzung von 1 bis 2 Mrd. tC pro Jahr. Sie ist damit für etwa 10 bis 20 % des anthropogenen Treibhauseffektes verantwortlich.

Die wachsende Bevölkerung und die steigende Nachfrage nach Holz und vor allem kurzlebigen Holzprodukten wird in absehbarer Zeit zu einer Ausweitung der anthropogenen Eingriffe in die Wälder führen. Das heutige Ausmaß der Waldvernichtung und -degradation droht sich entsprechend auszuweiten. Dieser direkte menschliche Einfluß wird vorerst die weltweite Waldfläche und den Zustand der Wälder bestimmen. Bei Anhalten des derzeitigen Trends werden sich zudem die anthropogenen Klimaänderungen mehr und mehr auf den Zustand der Waldökosysteme auswirken. Aufgrund der Schnelligkeit, mit der die prognostizierten Veränderungen eintreten werden — sowie der voraussichtlich wesentlich häufigeren klimatischen Extremereignisse — ist damit zu rechnen, daß Wälder großflächig absterben bzw. degradieren. Gegenwärtig als CO₂-Senke wirkende Wälder drohen im Zuge der Klimaänderung zu Nettokohlenstoffquellen zu werden und so den anthropogenen Treibhauseffekt zu verstärken.

Insgesamt ist damit zu rechnen, daß die heute bereits durch Waldvernichtung freigesetzte biogene Kohlenstoffmenge (1 bis 2 Mrd. tC pro Jahr) in Zukunft erheblich ansteigen und sogar einen Wert annehmen könnte, der mit den heutigen CO₂-Emissionen durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe (6 bis 7 Mrd. tC pro Jahr) vergleichbar ist.

7.2 Allgemeine Zielsetzungen und Handlungsfelder

Um die Wälder und ihre vielfältigen Funktionen auch für künftige Generationen zu erhalten, ist sofortiges Handeln geboten. Dabei ist zu bedenken, daß aufgrund der langen Entwicklungszyklen im Waldbereich heute ergriffene Maßnahmen erst in Jahrzehnten wirksam werden und die Gefährdung der Wälder in allen Klimazonen sich in Zukunft rapide erhöhen wird, wenn keine Gegenmaßnahmen ergriffen werden.

Die Vielfältigkeit der waldbelastenden Faktoren erfordert die Umsetzung verschiedener, aufeinander abgestimmter Maßnahmenbündel innerhalb und außerhalb des Waldsektors. Diese bedürfen einer internationalen Abstimmung und engen partnerschaftlichen Kooperation. Eine wirksame Waldschutzstrategie muß daher durch eine verbindliche Internationale Konvention zum Schutz der Wälder rechtlich abgesichert werden (vgl. Kap. 7.7). Die notwendigen Maßnahmen sind zum großen Teil auf der nationalen Ebene umzusetzen. Im einzelnen räumt die Enquete-Kommission den folgenden Handlungsfeldern in allen Klimazonen höchste Priorität ein.

Schutz und Erhalt von Primärwäldern sowie Entwicklung und Einführung nachhaltiger Bewirtschaftungssysteme

Leitziele einer zukünftigen Waldschutzstrategie müssen der Schutz der Waldökosysteme vor Vernichtung und Degradation, der Erhalt von Primärwäldern sowie die Entwicklung und Umsetzung nachhaltiger Bewirtschaftungssysteme in allen Klimazonen der Erde sein. Um die fortschreitende Umwandlung von Primärwäldern in Sekundärwälder zu vermindern, ist in allen Klimazonen eine „seßhafte“ Forstwirtschaft anzustreben, deren Produktion insbesondere auf der geregelten und nachhaltigen Bewirtschaftung von Sekundärwäldern basiert. Die verbliebenen Urwälder sind in wesentlich größerem Umfang als heute unter Schutz zu stellen und von einer intensiven Bewirtschaftung auszuschließen. Dies gilt insbesondere für ökologisch sensible Bereiche, wie Gebirgsregionen, Überschwemmungsgebiete, Übergangsbereiche zu Steppen, Tundren und anderen waldfreien Vegetationszonen. Dazu sind auf der Basis der Bedürfnisse, Fähigkeiten und Kenntnisse der lokalen Bevölkerung geeignete Schutz- und Nutzungskonzepte zu entwickeln.

Der Resolution der Ministerkonferenz zum Schutz der Wälder in Europa vom Juni 1993 entsprechend, ist unter einer nachhaltigen Bewirtschaftung zu verstehen:

„Die Betreuung von Waldflächen und ihre Nutzung in einer Art und Weise, daß die biologische Vielfalt, die Produktivität, die Verjüngungsfähigkeit, die Vitalität und die Fähigkeit, gegenwärtig und in Zukunft wichtige ökologische, wirtschaftliche und soziale Funktionen auf lokaler, nationaler und globaler Ebene zu erfüllen, erhält und anderen Ökosystemen keinen Schaden zufügt.“

Damit wurde eine Grundlage für die Weiterentwicklung einer an allen Waldfunktionen orientierten nachhaltigen Nutzung in allen Klimazonen geschaffen. Zur praktischen Umsetzung einer so definierten Nachhaltigkeit sind verbindliche und nachprüfbar Kriterien festzulegen, die an die regional verschiedenen ökologischen, ökonomischen und sozialen Bedingungen angepaßt und in enger Zusammenarbeit mit der lokalen Bevölkerung und den Nichtregierungsorganisationen zu erarbeiten sind.

Eine allein am Holzertrag orientierte Nachhaltigkeit entspricht den Anforderungen nicht, da sie langfristig zu einer Destabilisierung der Waldbestände führen kann und die Bedeutung der Wälder für die Erhaltung der biologischen Vielfalt nicht adäquat berücksichtigt.

Klima- und umweltverträgliche Holzverwendung

Durch die Bewirtschaftung der Wälder und die Verwendung des eingeschlagenen Holzes beeinflusst der Forst- und Holzsektor die in der Waldbiomasse und in Holzprodukten gespeicherte Kohlenstoffmenge. Entsprechend ist es möglich, durch gezielte Maßnahmen der Forst- und Holzwirtschaft die Kohlenstoffbilanz zu

verbessern und dadurch einen Beitrag zur Entlastung der Atmosphäre zu leisten (vgl. Kap. 6). Dies ist insbesondere durch eine Ausweitung von Neuaufforstungen und die verstärkte Verwendung langlebiger Holzprodukte möglich. Dabei ist zu gewährleisten, daß sämtliche Maßnahmen in sozial- und umweltverträglicher Form durchgeführt werden.

Anpassung der Wälder an künftige Klimaänderungen

Die erheblichen Unsicherheiten über die regionale Ausprägung künftiger Klimaänderungen erschweren es, gezielte Maßnahmen zur Erweiterung der Anpassungsmöglichkeiten von Wäldern zu entwickeln. Daher ist im Sinne des Vorsorgeprinzips eine breite genetische Vielfalt, insbesondere auf der Basis einheimischer Arten, sowie die ökologische Stabilität der Wälder zu sichern. Auf diese Herausforderung muß sich die Waldwirtschaft einstellen. Darüber hinaus ist nicht nachhaltigen Eingriffen und anderen anthropogenen Störungen (z. B. Schadstoffeintrag) dringend entgegenzuwirken.

Verminderung der Emission klimawirksamer Spurengase

Die zukünftige Waldentwicklung wird entscheidend vom Ausmaß der Klimaänderung abhängen. Eine deutliche Verminderung der klimawirksamen Spurengasemissionen ist daher unerlässlich für den dauerhaften Erhalt der Wälder. Die im Rahmen der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung verabschiedete Klimarahmenkonvention greift die enge Verbindung zwischen Klimaänderung und Waldentwicklung auf. In Artikel 2 der Konvention wird als klimapolitische Zielsetzung formuliert, die Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre auf einem Niveau zu stabilisieren,

„auf dem eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems verhindert wird. Ein solches Niveau sollte innerhalb eines Zeitraums erreicht werden, der ausreicht, damit sich die Ökosysteme auf natürliche Weise den Klimaänderungen anpassen können“.

Wie in Kapitel 5 beschrieben, übersteigt jedoch die Geschwindigkeit, mit der sich die prognostizierten Klimaänderungen innerhalb der kommenden Jahrzehnte vollziehen werden, bei weitem die natürliche Anpassungsfähigkeit der Wälder. Um das Zusammenbrechen von Ökosystemen zu verhindern, dürfte die Erwärmung der Erde — auf der Grundlage der heutigen wissenschaftlichen Erkenntnis — 0,1 °C pro Jahrzehnt nicht übersteigen. Zur Zeit ist für das kommende Jahrhundert von einer durchschnittlichen Erwärmungsrate von etwa 0,3 °C pro Jahrzehnt auszugehen. Um die in der Klimarahmenkonvention festgelegten Zielsetzungen erreichen zu können, müßten die CO₂- und die N₂O-Emissionen bis zum Jahr 2050 weltweit um etwa 60 bis 80 % und die CH₄-Emissionen um 15 bis 20 % verringert werden. Bei der weiteren Umsetzung der Klimarahmenkonvention sind diese Vorgaben zu berücksichtigen.

7.3 Handlungsoptionen, Instrumente und Empfehlungen zum Schutz der temperierten Wälder

Die Gefährdung der Wälder in der gemäßigten Zone geht im wesentlichen auf außerforstliche Einwirkungen zurück. Am problematischsten ist dabei die destabilisierende Wirkung des seit Jahrzehnten anhaltenden Stoffeintrags in die Wälder, der Ursache für die großflächige Verbreitung von Waldschäden ist. Der langfristige Erhalt der Wälder und ihrer Funktionen erfordert daher eine drastische Reduzierung des Schadstoffausstoßes insbesondere im Energie-, Verkehrs- und Landwirtschaftsbereich. Ein weiterer Schwerpunkt bei den Bemühungen um den Schutz der Wälder in der gemäßigten Zone muß die Fortentwicklung und Umsetzung von Schutzkonzepten und nachhaltigen Bewirtschaftsmethoden sein. Dabei gilt es insbesondere, die im Rahmen der Ministerkonferenz zum Schutz der Wälder in Europa verabschiedeten Vereinbarungen in die betriebliche Forstpraxis umzusetzen. Auf dieser Basis sind die internationalen Waldschutzbemühungen in Richtung einer verbindlichen globalen Konvention zum Schutz aller Wälder weiterzuentwickeln.

7.3.1 Instrumente zur Verminderung waldschädigender Emissionen

Die Genfer Luftreinhaltekonvention und die dazugehörigen Protokolle

Zur Verminderung des Schadstoffeintrags in die Wälder ist auf der internationalen Ebene das Abkommen über die Begrenzung grenzüberschreitender Luftverschmutzung in Europa von 1979 („Genfer Luftreinhaltekonvention“) das zentrale Instrument. Die wesentlichsten Vereinbarungen wurden dabei in den Protokollen zur Verminderung der Emission von Schwefelverbindungen (1985), von Stickstoffoxiden (1988) und flüchtigen Kohlenwasserstoffverbindungen (VOC) (1991) konkretisiert.

Auf dieser Grundlage sanken in Europa die SO₂-Emissionen zwischen 1980 und 1993 um etwa 30 %. Die NO_x-Emissionen sollen in 25 Ländern bis zum Jahr 1994 auf das Niveau von 1987 zurückgeführt werden. Elf Länder, unter ihnen die Bundesrepublik Deutschland, haben sich darüber hinaus verpflichtet, ihre NO_x-Emissionen bis 1998 um 30 % gegenüber 1988 zu vermindern. In 21 Staaten sollen die VOC-Emissionen bis 1999 um 30 % reduziert werden. Beides würde gleichermaßen zu einer Verminderung der bodennahen Ozonbelastung führen.

In allen Protokollen wurde die rechtzeitige Fortsetzung des Verhandlungsprozesses festgeschrieben. Auf dieser Basis verabschiedeten die Signatarstaaten Anfang März 1994 ein verschärftes Schwefel-Protokoll, das im Juni 1994 in Oslo unterzeichnet wurde. Die verschärfte Fassung sieht vor, bis zum Jahr 2000 die in Europa freigesetzte SO₂-Menge gegenüber 1980 um knapp 60 % zu reduzieren. Die länderspezifischen Reduktionsziele sind in Tabelle 7.1 wiedergegeben. In einigen Staaten, insbesondere in Osteuropa,

sind die Reduktionsziele in mehrere Stufen (2000, 2005 und 2010) unterteilt. Anderen Ländern wurde — trotz der deutlichen Absenkung der Gesamtemission — eine Steigerung der heutigen SO₂-Emission zugestanden.

Die Bundesrepublik Deutschland, die durch den Beitritt der Neuen Länder wieder zum größten SO₂-Emittenten in Europa wurde, hat sich im Rahmen des Protokolls verpflichtet, die freigesetzte SO₂-Menge bis zum Jahr 2000 auf 1,3 Mio. t und bis 2005 auf 0,9 Mio. t zu vermindern. Gegenüber 1980 wäre dies, unter Einbeziehung der damaligen DDR, eine Reduktion um 83 bzw. 87 % (Tab. 7.1) (vgl. Kap. 3).

Die Umsetzung der eingegangenen Reduktionsverpflichtungen wird mit Hilfe des Beobachtungsnetzes EMEP von einem neu eingerichteten Ausschuß überwacht. Ferner soll bis zum Jahr 1997 überprüft werden, ob die vereinbarten Reduktionsziele weiter zu verschärfen sind.

Neben den Reduktionsverpflichtungen wurden im verschärften Schwefel-Protokoll verbindliche Emissionsgrenzwerte für Großfeuerungsanlagen aufgenommen. Diese entsprechen der EG-Richtlinie und liegen bei Neuanlagen über 500 MW Leistung bei 400 mg SO₂/m³. Kraft- und Heizwerke im Leistungsbereich zwischen 50 und 100 MW bzw. 100 und 500 MW, die mit Kohle befeuert werden, dürfen maximal 2000 bzw. zwischen 400 und 2000 mg SO₂/m³ freisetzen. In ölbetriebenen Heizkraftwerken darf die SO₂-Emission bei einer Leistung zwischen 50 und 300 MW bis zu 1700 mg SO₂/m³ betragen. Zwischen 300 und 500 MW Leistung muß sie zwischen 1700 und 400 mg SO₂/m³ liegen. Die SO₂-Emissionen bereits bestehender Anlagen sollen zwar bis zum 1. Juli 2004 ebenfalls auf diese Niveaus reduziert werden. Dies wurde jedoch nicht verbindlich festgeschrieben und dürfte daher nicht den gewünschten Effekt haben.

Ferner wurde die Höchstgrenze für den Schwefelgehalt von Gasölen auf 0,05 % bei Diesel für Straßenfahrzeuge und auf 0,2 % bei anderen Fahrzeugen festgeschrieben.

Zu den grundsätzlichen Vorteilen des neuen Protokolls gehören:

- Die kritische Belastung („Critical Loads“), d. h. die maximalen für die Ökosysteme verträglichen Stoffeinträge bzw. -konzentrationen, wurden erstmals als Vereinbarungsgrundlage herangezogen. Dadurch erfuhren ökologische Kriterien bei der Festsetzung der vereinbarten Reduktionsziele ein erheblich größeres Gewicht.
- Alle europäischen Staaten sowie Kanada wurden in den verbindlichen Prozeß der SO₂-Reduktion einbezogen. Dadurch ist zum Beispiel die Gefahr des Umweltdumpings durch einzelne Staaten vermindert worden.
- Ein Follow-Up-Prozeß ist bereits fest in das Protokoll integriert und damit die Eigendynamik des Reduktionsprozesses erhöht worden. Außerdem wurde die regelmäßige Berichterstattung über die Umsetzung der Maßnahmen auf nationaler Ebene festgeschrieben.

Angesichts der Dringlichkeit des Problems grenzüberschreitender Luftverschmutzungen und den relativ hohen Reduktionspotentialen, vor allem im SO₂-Bereich, gibt es jedoch auch kritische Aspekte. Die wesentlichsten Punkte sind dabei:

- Auch bei Erreichen der jetzigen Zielsetzung werden etwa 7 % der Ökosysteme in Europa weiterhin zu hoch mit SO₂ belastet. In einigen Ländern, zu denen auch die Bundesrepublik Deutschland zählt, werden diese Flächen sogar bis zu 20 % ausmachen (Friends of the Earth u. a. 1993).
- Die neuen Reduktionsziele sind in der Regel bereits in nationalen Programmen festgeschrieben. Die internationale Abstimmung bringt daher keine weitergehende Verbesserung.
- Bei der Ermittlung des Reduktionspotentials wurde zu wenig Gewicht auf eine Steigerung der Energieeffizienz — vor allem in Kraftwerken — gelegt. Damit werden die Kostenvorteile von Reduktionsmaßnahmen nicht ausreichend berücksichtigt.
- Das Protokoll ist erst mit erheblicher zeitlicher Verzögerung verabschiedet worden. Ursprünglich sollte bereits im Jahr 1991 eine Fortschreibung des ersten Schwefel-Protokolls erfolgen.

Instrumente auf nationaler und EG-Ebene

Über die Protokolle der Genfer Luftreinhaltekonvention hinaus sind vor dem Hintergrund sich rasch ausweitender Waldschäden auf nationaler und EG-Ebene eine Reihe von anlagenbezogenen Verordnungen und Maßnahmen zur Luftreinhaltung beschlossen und umgesetzt worden. Von besonderer Bedeutung sind dabei die auf der Grundlage des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) erlassene Großfeuerungsanlagen-Verordnung, die Kleinf Feuerungsanlagen-Verordnung sowie die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft. Auf dieser Basis konnte seit Beginn der 80er Jahre in den alten Bundesländern die SO₂-Emission um 71 % gesenkt werden. In den neuen Bundesländern liegt die SO₂-Emission nach wie vor auf sehr hohem Niveau (1990 etwa 4,7 Mio. t). Sie wird im Zuge der Umsetzung der für das frühere Bundesgebiet geltenden Verordnungen in den neuen Ländern in absehbarer Zeit deutlich zurückgehen. Dieser Prozeß muß — auch wegen der erheblichen SO₂-Exporte in die östlichen Nachbarstaaten — zügig vorangebracht werden.

Im Verkehrsbereich ist in erster Linie die Einführung des geregelten Dreiwege-Katalysators in Neuwagen als wichtigste Maßnahmen zur Schadstoffreduktion zu nennen. Aufgrund der rasanten Zunahme des Pkw-Bestandes von 14 Mio. im Jahr 1970 auf 31 Mio. im Jahr 1990 und gleichzeitiger Verdopplung der Gesamtfahrleistung pro Pkw stiegen die NO_x-Emissionen im Verkehrssektor zwischen 1980 und 1990 jedoch von 1,6 auf 1,9 Mio. t/Jahr an (alte Bundesländer). Dagegen sank der Gesamtausstoß an NO_x in diesem Zeitraum um 11 %.

Tabelle 7.1

**Nationale Emissionen und Reduktionsziele für SO₂ in den ECE-Staaten
auf der Basis des verschärften Schwefelprotokolls**

	Emission in 1000 t SO ₂ /Jahr		Emissionsgrenzwerte in 1000 t SO ₂ /Jahr			Emissionsminderung (in % gegenüber dem Basisjahr 1980)		
	1980	1990	2000	2005	2010	2000	2005	2010
Belgien	828	443	248	232	215	70	72	74
Bulgarien	2 050	2 020	1 374	1 230	1 127	33	40	45
Dänemark	451	180	90			80		
Deutschland	7 494	5 803	1 300	990		83	87	
Finnland	584	260	116			80		
Frankreich	3 348	1 202	868	770	737	74	77	78
Griechenland	400	510	595	580	570	0	3	4
Irland	222	168	155			30		
Italien	3 800		1 330	1 042		65	73	
Kanada	4 614	3 700	3 200			30		
Kroatien	150	160	133	125	117	11	17	22
Liechtenstein	0,4	0,1	0,1			75		
Luxemburg	24		10			58		
Niederlande	466	207	106			77		
Norwegen	142	54	34			76		
Österreich	397	90	78			80		
Polen	4 100	3 210	2 583	2 173	1 397	37	47	66
Portugal	266	284	304	294		0	3	
Rußland	7 161	4 460	4 440	4 297	4 297	38	40	40
Schweden	507	130	100			80		
Schweiz	126	62	60			52		
Slowakien	843	539	337	295	240	60	65	72
Slowenien	235	195	130	94	71	45	60	70
Spanien	3 319	2 316	2 143			35		
Tscheschien	2 257	1 876	1 128	902	632	50	60	72
Ukraine	3 850		2 310	2 118	1 696	40	45	56
Ungarn	1 632	1 010	898	816	653	45	50	60
Vereinigtes Königreich ...	4 898	3 780	2 449	1 470	980	50	70	80
Weißrußland	740		456	400	370	38	46	50
Europäische Gemeinschaft	25 513		9 598			62		

Quelle: UN-ECE 1994

Im Zuge der weiteren Umsetzung des Dreistufenplans der EG zur Schadstoffminderung im Straßenverkehr wird für Pkw ab 1996 eine zweite Grenzwertstufe eingeführt, die bei Benzinmotoren eine Reduzierung der für die Ozonbildung verantwortlichen Stickoxide und Kohlenwasserstoffe um 56 % und der aus Dieselmotoren entweichenden Rußpartikel um ebenfalls 56 % — jeweils bezogen auf die Emission pro Fahrzeug — vorsieht.

Die technischen Potentiale an den Fahrzeugen dürften damit auf absehbare Zeit weitgehend ausgeschöpft sein. In welchem Umfang dadurch die Schadstoffemission des Straßenverkehrs sowie die bodennahe Ozonbildung tatsächlich reduziert wird, ist entscheidend von der Entwicklung der Verkehrsleistung abhängig. Steigt sie — den Prognosen entsprechend — in den kommenden Jahren drastisch an, wird ein erheblicher Teil der Reduktion durch das Verkehrswachstum kompensiert. Die zu erwartende Reduktionsquote kann daher zum heutigen Zeitpunkt nur mit großen Unsicherheiten bestimmt werden. Sie wird jedoch nicht ausreichen, um die NO_x -Einträge in die Waldökosysteme unter die kritischen Belastungsgrenzen (Critical Loads) abzusenken. Ebenso werden auch in Zukunft, wenn keine weitergehenden Maßnahmen ergriffen werden, die Ozonspitzenwerte deutlich oberhalb des vertraglichen Maßes liegen. Um in Deutschland die Ozonkonzentrationen auf ein vertretbares Niveau zu senken, sind Emissionsminderungen bei den VOC und NO_x um 70 bis 80 % erforderlich (Ozon-Symposium 1991).

7.3.2 Schutz und nachhaltige Bewirtschaftung

Der Erhalt der Wälder und die Fortentwicklung und Umsetzung nachhaltiger Bewirtschaftungsmethoden in den gemäßigten Breiten wurden im Rahmen der „Ministerkonferenz zum Schutz der Wälder in Europa“, die 1990 in Straßburg zum ersten Mal zusammenkam und die Grundlagen für einen „Follow-up-Prozeß“ auf europäischer Ebene schuf, aufgegriffen. Eine Konkretisierung der gemeinsamen Strategie erfolgte beim ersten Nachfolgetreffen im Juni 1993 in Helsinki. Dieses diente in erster Linie dazu, die von der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung beschlossenen Dokumente (Agenda 21, Klimarahmenkonvention, Walderklärung und Konvention zum Schutz der biologischen Vielfalt) im europäischen Rahmen umzusetzen und weiterzuentwickeln. Die Ministerkonferenz verabschiedete dazu eine Allgemeine Erklärung und die folgenden vier Resolutionen:

- Allgemeine Leitlinien für die nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder in Europa
- Allgemeine Leitlinien für die Erhaltung der biologischen Vielfalt der Europäischen Wälder
- Forstliche Zusammenarbeit mit den Reformstaaten
- Strategien für die langfristige Anpassung der Wälder in Europa an die Klimaveränderung.

Die Resolutionen stellen einen wesentlichen Fortschritt in Richtung einer ökologischen, am Erhalt der Waldfunktionen orientierten, nachhaltigen Waldbewirtschaftung dar. Sie bieten zudem eine geeignete Grundlage für die im Rahmen einer Internationalen Waldkonvention festzuschreibenden Zielsetzungen.

7.3.3 Empfehlungen der Enquete-Kommission zum Schutz der temperierten Wälder

7.3.3.1 Empfehlungen für die internationale Ebene

Verschärfung und Ergänzung der Protokolle im Rahmen der Genfer Luftreinhaltekonvention

Mit dem verschärften Schwefel-Protokoll ist eine zweite Stufe der Schadstoffverminderung in Europa erreicht worden, die möglichst rasch auch für die anderen Protokolle im Rahmen der Luftreinhaltekonvention anzustreben ist. Vor diesem Hintergrund sieht die Enquete-Kommission eine zügige Verschärfung der bereits bestehenden Protokolle sowie die Erstellung eines neuen Ammoniak-Protokolls im Rahmen der Luftreinhaltekonvention als eine vordringliche Aufgabe an. Mittelfristig sollte dabei erreicht werden, daß der Eintrag luftgetragener Schadstoffe flächendeckend das Niveau der kritischen Belastung nicht überschreitet. Neben sogenannter End-of-Pipe-Technologien ist vor allem eine Schadstoffreduktion durch eine Effizienzsteigerung bzw. durch eine Veränderung der Bedarfsstruktur (zum Beispiel im Energie- und Verkehrsbereich) dringend erforderlich. Dadurch kann dem Reduktionsprozeß eine stärkere Dynamik verliehen werden.

Das neu verhandelte Schwefel-Protokoll ist in diesem Sinne als Zwischenstufe zu verstehen. Eine weitere Verschärfung sollte angestrebt werden. Aufgrund der zeitlichen Verzögerungen zwischen Verabschiedung und Inkrafttreten der Vereinbarung (etwa 2 Jahre) sind dazu möglichst bald neue Verhandlungen zu beginnen, die bis 1996 abgeschlossen sein sollten. Als Zielsetzung ist dabei die Rückführung der SO_2 -Emissionen auf ein Niveau, das den Eintrag in die Ökosysteme flächendeckend auf oder unter das Niveau der kritischen Belastungen vermindert.

Um die im SO_2 -Bereich aufgetretenen Verzögerungen in anderen Protokollen zu verhindern, muß vor allem die Verschärfung des NO_x -Protokolls umgehend eingeleitet werden. Die Stickstoffeinträge verursachen in den westeuropäischen Wäldern inzwischen wesentlich größere Schäden als die Schwefelbelastung. Etwa die Hälfte der Stickstoffemissionen wird in Form von NO_x im Verkehrsbereich freigesetzt. Über die direkten Schäden hinaus ist NO_x maßgeblich für die ebenfalls schädlichen hohen Ozonkonzentrationen in Bodennähe verantwortlich. Diesem Zusammenhang ist eine größere Aufmerksamkeit zu widmen. Um die kritische Belastung zu unterschreiten, müßte die Emission in der Bundesrepublik Deutschland innerhalb der nächsten 10 bis 20 Jahre um 55 bis 60 %, langfristig (20 bis 40 Jahre) um 80 % vermindert werden (Ulrich und Puhe 1993).

Auch das Protokoll zur Verminderung der VOC-Emissionen sollte möglichst rasch überprüft und verschärft werden. Die international vereinbarte Reduktion um 30 % entspricht nicht dem derzeitigen Stand der Technik und sollte daher verschärft werden. In der Bundesrepublik Deutschland soll zum Beispiel die VOC-Freisetzung bis zum Jahr 1999 um mindestens 50 % vermindert werden (BMU 1991). Die Enquete-Kommission empfiehlt eine Verminderung um 80 % bis zum Jahr 2005 (bezogen auf das Jahr 1987).

Angesichts der erheblichen Schadwirkung der Ammoniak-Emissionen ist zudem die Ausarbeitung eines NH_3 -Protokolls im Rahmen der Genfer Luftreinhaltekonvention dringend geboten. In der Bundesrepublik Deutschland gehen knapp 40 % des Stickstoffeintrags in die Wälder auf die NH_3 -Emissionen aus der Landwirtschaft zurück. Diese sind maßgeblich an der Bodenversauerung und dem Entstehen von Nährstoffungleichgewichten beteiligt, rufen Waldschäden hervor und erhöhen die Auswaschung von Nitrat ins Grundwasser bzw. die Freisetzung des klimawirksamen N_2O in die Atmosphäre. Sie sind daher dringend zu vermindern. Die anzustrebende Verminderung sollte dabei zumindest in der gleichen Größenordnung liegen wie beim NO_x (vgl. Abschnitt B, Kap. 4).

Im Bereich des Monitoring und der Forschung sowohl der Schadstoffbelastung als auch der Waldschadensentwicklung sieht die Enquete-Kommission es als notwendig an, die internationale Kooperation weiter zu intensivieren. Die mittlerweile 34 Länder umfassende europäische Waldschadensinventur und die Fortentwicklung des Schadstoff-Monitoring-Systems EMEP ist ein wichtiger Schritt zur Verbesserung der Datenlage und der Erkenntnisse über die Neuartigen Waldschäden. Auf dieser Basis müssen möglichst umgehend von allen ECE-Staaten getragene Anstrengungen im Bereich der Waldökosystemforschung sowie der Ursachen und Folgen der Waldschäden unternommen werden. Dazu sind die bestehenden Institutionen zu nutzen. Außerdem ist die Finanzierung sicherzustellen.

Um die oben genannten Zielsetzungen der Protokolle zu erreichen, sieht die Enquete-Kommission in den jeweiligen Verursacherbereichen die folgenden Handlungsoptionen:

Energiebereich:

- Einbau von Filteranlagen für SO_2 und NO_x in Kraftwerken,
- Steigerung der Effizienz der Kraftwerke,
- Einbau schadstoffarmer Heizungsanlagen in privaten Haushalten,
- Ausbau der Kraftwärmekopplung,
- Internalisierung externer Kosten, insbesondere durch die Einführung einer CO_2 /Energiesteuer.

Industrie:

- Entschwefelung und Entstickung von Hochtemperaturanlagen (z. B. Hochöfen) und Einbau von Filteranlagen für Motoren,
- Wiederverwertung von Altstoffen, z. B. Energieeinsparung durch Metallrecycling,
- Höhere Energieeffizienz und Anwendung von Kraftwärmekopplung,

Verkehr:

- Möglichst weitgehende Verlagerung des Straßen- und Luftverkehrs auf die Schiene und die Binnenschifffahrt; dies gilt insbesondere für den Güterverkehr in Europa, der auf absehbare Zeit am stärksten wachsen wird,
- Technische Maßnahmen zur Reduktion der Fahrzeugemissionen (Katalysatoren, Verminderung des Treibstoffverbrauchs etc.)
- Verkehrsvermeidung durch raumplanerische Maßnahmen und verstärkte Öffentlichkeitsarbeit,
- Maßnahmen zur Verminderung der Emission flüchtiger Kohlenwasserstoffe (VOC) (z. B. Kohlekanister, Gaspendingung).

Landwirtschaft (vgl. Abschnitt B, Kap. 4):

- Reduzierung des Tierbestandes und Bindung an die Fläche,
- Abdecken von Güllelagern,
- Emissionsarme Ausbringung von Gülle auf die Anbauflächen,
- Förderung der Festmistwirtschaft,
- Einbau von Filteranlagen für Stallluft.

Fortentwicklung und Umsetzung nachhaltiger Bewirtschaftungssysteme

Die Enquete-Kommission wertet die Resolutionen der Ministerkonferenz zum Schutz der Wälder in Europa als wertvoll auch im Hinblick auf die Ausarbeitung einer Internationalen Konvention zum Schutz der Wälder. Sie sollten zügig in die forstliche und forstpolitische Praxis umgesetzt werden. Hierzu bedarf es zunächst meßbarer Kriterien für nachhaltige Bewirtschaftungsmethoden. Darüber hinaus sind jedoch auch die finanziellen und rechtlichen Rahmenbedingungen zu ändern. Die Enquete-Kommission fordert die Bundesregierung, die Europäische Union und die UN-Kommission für wirtschaftliche Zusammenarbeit in Europa (UN-ECE) auf, sich nachdrücklich dafür einzusetzen, daß die Helsinki-Beschlüsse auch von anderen Staaten — insbesondere den USA und Kanada — aufgenommen und umgesetzt werden.

Die forstwirtschaftliche Nutzung der temperierten Wälder muß sich vor allem am Ziel der ökologischen Stabilität der Waldökosysteme orientieren. Dabei soll die naturgemäße Waldbewirtschaftung als Leitziel gelten. Dies bedeutet zum Beispiel den Umbau der Altersklassenwälder in Plenterwald, den Verzicht auf

Kahlschläge und die Verminderung der Eingriffe in die Waldökosysteme (Düngung, Pestizideinsatz, Entwässerung etc.). Gerade die Laub- und Mischwälder der gemäßigten Breiten eignen sich für diese relativ extensive Nutzungsform, da sie ihrer natürlichen Entwicklung am ehesten entspricht.

Die Umstellung der Bewirtschaftung hin zu naturgemäßen Methoden würde die ökologische Stabilität und damit die Bestandssicherheit vergrößern. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund der sich abzeichnenden Klimaänderungen. Es ist jedoch dringend erforderlich, die notwendigen ökonomischen und ökologischen Rahmenbedingungen für eine derartige Bewirtschaftung zu schaffen. Dazu gehört zum Beispiel auch die Verminderung der Schalenwildbestände auf ein Niveau, das die natürliche Verjüngung in allen Wäldern zuläßt.

Ein besonderer Schwerpunkt in den Wäldern der gemäßigten Breiten ist der absolute Schutz der verbliebenen Primärwaldflächen sowie die Ausweisung von Waldgebieten, die einer natürlichen Entwicklung überlassen werden. Die bislang nicht ausreichend berücksichtigten Funktionen der Wälder (zum Beispiel biologische Vielfalt) sind durch die Ausweisung von Schutzgebieten zu sichern, in denen der Holzeinschlag eingeschränkt bzw. verboten ist. Als Größenordnung sollen in etwa 10 % der Landesfläche dem Erhalt der biologischen Vielfalt oder anderen ökologischen Funktionen dienen und entsprechend unter Schutz gestellt werden. Dabei sind insbesondere für die Randbereiche der Schutzgebiete umwelt- und naturverträgliche Nutzungskonzepte zu entwickeln. Gute Ansätze bietet hierzu das Konzept der Biosphären-Reservate. Die Schutzgebiete sollten möglichst alle natürlich vorkommenden Waldökosystemtypen repräsentativ umfassen.

7.3.3.2 Empfehlungen für die nationale und die EG-Ebene

Verminderung der Emission von SO₂, NO_x, VOC sowie der Ozonbildung

Zur Reduzierung der waldschädigenden Emissionen sowie der Ozonbildung auf ein verträgliches Niveau sieht die Enquete-Kommission über die bereits beschlossene Ausstattung von Neuwagen mit Katalysatoren und die Verminderung des Gehaltes von Kohlenwasserstoffen in Kraftstoffen hinaus Reduktionsmaßnahmen im Verkehrsbereich als dringend erforderlich an. Erhebliche Potentiale bestehen dabei im Bereich der Verkehrsvermeidung und -verlagerung. Diese sollen von der Bundesregierung und der Europäischen Union

- durch einen konsequenten Ausbau des öffentlichen Verkehrs,
- über eine Erhöhung der Mineralölsteuer oder Einführung einer emissionsbezogenen Kraftfahrzeugsteuer oder die Umlegung der Kraftfahrzeugsteuer auf die Mineralölsteuer,
- durch die verursachergerechte Anlastung der durch den Verkehr entstehenden externen Kosten (Umweltschäden, soziale Kosten, Wegekosten),

- die Integration von Grundsätzen zur Verkehrsvermeidung in die Stadt- und Regionalplanung sowie in Umweltfachplanungen,
- die Überprüfung bestehender Rechtsvorschriften, Planungen und Programme des Bundes, der Länder und der Kommunen auf unerwünschte verkehrserzeugende Effekte.

Weitere Möglichkeiten bieten ordnungspolitische Instrumente, wie etwa Fahrverbote für Pkw ohne Katalysator in Zeiten hoher Ozongefährdung. Wegen der relativ langen Verweildauer der Substanzen in der Atmosphäre sind derartige Maßnahmen sowohl national als europaweit durchzuführen.

Langfristig, das heißt über Jahrzehnte, muß jedoch jeglicher motorisierte Verkehr auf Technologien umgestellt werden, bei denen die Emission von direkt und indirekt klimawirksamen bzw. waldschädigenden Gasen weitestgehend — nach Möglichkeit sogar vollständig — vermieden werden kann. Dafür müssen bereits jetzt die Weichen in der Verkehrs- und Forschungspolitik gestellt werden.

Im Energiebereich, der für rund ein Drittel der NO_x-Emission verantwortlich ist, sieht die Enquete-Kommission ebenfalls Reduktionspotentiale, die durch

- den Einbau von Filteranlagen,
- die Einführung einer CO₂/Energiesteuer sowie
- Maßnahmen zur Effizienzsteigerung im Kraftwerksbereich

erschlossen werden können. Darüber hinaus müssen die für die alten Bundesländer geltenden technischen Standards im Kraftwerks- und Wärmebereich umgeändert auch in den neuen Ländern umgesetzt werden, um vor allem die immens hohe SO₂-Emission drastisch zu vermindern.

Verminderung der NH₃-Emission

Mit einem Anteil von knapp 40 % an den Stickstoffemissionen ist die Landwirtschaft ein wesentlicher Verursacher von Waldschäden. Diesem Zusammenhang wird bislang zu wenig Bedeutung beigemessen. Die Enquete-Kommission sieht es daher als erforderlich an, die Freisetzung von Ammoniak deutlich zu vermindern. Sie hat dazu im Abschnitt B Handlungsempfehlungen formuliert (vgl. Abschnitt B, Kap. 4.4.1.4), die an dieser Stelle nur stichwortartig erwähnt werden sollen. Im einzelnen sieht sie es als vorrangig an,

- die externen Kosten der Tierproduktion zu internalisieren, insbesondere durch die Einführung einer Gülleabgabe von zunächst 2,— DM/kg Gülle-N (bei Überschreiten von 1,5 DE/ha LN), soweit ein zu schaffendes Förderprogramm zur Verringerung der Gülleproduktion nicht ausreichende Erfolge zeigt,
- die bodennahe Ausbringung (Schleppschlauch, Injektion etc.) und die sofortige Einarbeitung der Wirtschaftsdünger zu fördern,
- Ausbildung und Beratung im Bereich der Tierfütterung zu fördern,

- Investitionen zur Berücksichtigung emissionsmindernder Maßnahmen im Stallbau, Stallhygiene sowie Wirtschaftsdüngerlagerung und -ausbringung zu fördern.

Waldbewirtschaftung

Die Staaten Europas haben durch die Resolutionen der Ministerkonferenz zum Schutz der Wälder in Europa eine Vorreiterrolle im internationalen Waldschutz übernommen und sind gehalten, die Beschlüsse rasch in die eigenen Forstgesetze und die Forstpraxis umsetzen. Der zumindest in der Bundesrepublik in den vergangenen Jahren einsetzende — und von der Bundesregierung zum Teil geförderte — Trend hin zu standortgerechten Mischwaldbeständen ist dabei konsequent zu verstärken und in Richtung einer ökologischen, nachhaltigen Waldbewirtschaftung zu lenken. Dabei muß beachtet werden, daß die Waldwirtschaft in mehrfacher Hinsicht vor großen Herausforderungen steht. Sie muß zukünftig

- vor dem Hintergrund der bereits erfolgten Schädigungen durch Stoffeinträge die vielfältigen Waldfunktionen sicherstellen,
- die Anpassungsfähigkeit der Wälder an künftige Klimaänderungen vergrößern sowie
- ihrerseits Maßnahmen umsetzen, die die Kohlenstoffbilanz dauerhaft verbessern.

Dabei ist gleichzeitig ein Abbau erheblicher Holzüberschüsse in der Forstwirtschaft notwendig, die unter anderem auf das Aufwachsen holzreicher Bestände in den vergangenen Jahrzehnten sowie die starken Sturmschäden, vor allem in vorgeschädigten und nicht standortgerechten Fichtenbeständen, zurückzuführen sind. Die Bewirtschaftung der Wälder bedarf vor diesem Hintergrund einer stärkeren öffentlichen und politischen Beachtung und Unterstützung. Sie muß sich zudem in erheblich stärkerem Maße an ökologischen Kriterien orientieren.

Die Vorschläge zur Bewältigung der oben genannten Aufgaben weisen grundsätzliche Differenzen auf. Sie reichen in einer breiten Palette von einer Intensivierung des Managements (Durchforstungen, verstärkter Holzeinschlag und Aufforstung schnellwachsender Baumarten) bis zur drastischen Reduzierung der menschlichen Eingriffe in die Waldökosysteme auf ein unerläßliches Mindestmaß. Es kann zum heutigen Zeitpunkt nicht endgültig entschieden werden, welche Strategie innerhalb dieser Palette am ehesten geeignet ist, den Fortbestand funktionsfähiger Waldökosysteme sicherzustellen. Im folgenden sollen daher zunächst lediglich Leitlinien für eine zukünftige Waldbewirtschaftung vorgeschlagen werden, die auf dem heutigen Wissensstand über die zukünftige Klimaentwicklung basieren und als Vorsorgestrategie zu verstehen sind. Demnach sollten die Wälder so bewirtschaftet werden,

- daß ihre ökologische Stabilität auch unter sich verändernden Umweltbedingungen gewährleistet und
- die Erhaltung der biologischen Vielfalt sichergestellt ist,

- daß sie einen hohen Gehalt an — in der Biomasse und den Böden gespeicherten — Kohlenstoff dauerhaft aufweisen.

Um diese Zielsetzungen zu erreichen, sieht es die Enquete-Kommission als notwendig an, die Eingriffe des Menschen in die Waldökosysteme zu vermindern und der Nutzung natürlicher Prozesse Vorrang vor anthropogen hervorgerufenen Prozessen einzuräumen. Dies setzt zum Beispiel eine konsequent an den Standortbedingungen orientierte Artenzusammensetzung und Struktur der Wälder voraus. Darüber hinaus sind starke Eingriffe wie Kahlschläge, Düngung, Pestizideinbringung und Aufforsten von Reinbeständen zu vermeiden. Dagegen ist die Naturverjüngung, der einzelstammweise Einschlag und die Anwendung umweltschonender Erntemethoden zu fördern.

Die Struktur der Wirtschaftswälder muß sich in stärkerem Maße an den natürlichen Wäldern orientieren. Hierbei ist zu bedenken, daß gerade in Mitteleuropa keine größeren Naturwälder mehr bestehen und daher der Kenntnisstand über Zusammensetzung, Struktur und die ökologischen Prozesse in von Menschen unbeeinflussten Wäldern lückenhaft ist. Umgekehrt können die durch die praktizierte Bewirtschaftungsform ausgelösten Veränderungen in den Waldökosystemen nur schwer eingeschätzt werden. Das Ausmaß der anthropogenen Veränderungen in natürlichen Wäldern ist jedoch der Maßstab, der in anderen Klimazonen, in denen noch Primärwälder existieren, als Grad für die Nachhaltigkeit diskutiert wird. Es erscheint auch vor diesem Hintergrund notwendig, in Mitteleuropa der natürlichen Entwicklung von Wäldern Möglichkeiten einzuräumen. Dies kann in Form von Schutzgebieten geschehen, die von einer intensiven Nutzung ausgeschlossen sind und nicht bewirtschaftet werden. Derartige Gebiete sollten die heute vorkommenden Waldgesellschaften repräsentativ umfassen, miteinander vernetzt werden und in etwa 10 % der Waldfläche umfassen. Neben dem primären Schutzziel (z. B. Erhalt der biologischen Vielfalt) könnten in solchen nicht bewirtschafteten Wäldern mittel- bis langfristig neue Forschungsergebnisse über die natürlichen ökosystemaren Prozesse (Stoffströme, Konkurrenzsituation, Sukzession) gewonnen werden, die eine Überprüfung der Forstpraxis sowie die stetige Fortentwicklung ökologisch orientierter nachhaltiger Bewirtschaftungsmethoden ermöglichen.

Die Bewirtschaftung der übrigen Wälder sollte sich an den Prinzipien der naturgemäßen Waldwirtschaft orientieren. Das bedeutet in erster Linie sogenannte Dauerwälder einzurichten, die einzelstammweise eingeschlagen werden. Dies steht im Gegensatz zu der bis heute weitgehend üblichen Praxis des schlagweisen Hochwaldes, bei der altersgleiche Bestände mit relativ hohem Pflegeaufwand bewirtschaftet werden. Durch eine derartige Umgestaltung, die Jahrzehnte in Anspruch nimmt, könnte auch die für die Bewirtschaftung eingesetzte Zusatzenergie auf ein Mindestmaß reduziert und damit die Kohlenstoffbilanz des Forstsektors verbessert werden. Darüber hinaus verspricht sie eine Verringerung des Betriebsrisikos, da alters-

ungleiche Mischbestände zum Beispiel wesentlich resistenter gegen Stürme sind.

Ungeachtet der einzuführenden naturnahen Bewirtschaftung werden in einigen Waldgebieten in den kommenden Jahren stabilisierende Maßnahmen notwendig sein, um den Fortbestand der Wälder zu sichern. Dies betrifft in erster Linie die Verbesserung der Nährstoffversorgung extrem versauerter und verarmter Böden. Ein Teil der Waldböden weist nicht mehr genug Nährstoffe auf, um das Aufwachsen der nächsten Baumgeneration zu gewährleisten. Daher ist die Ausbringung von Kalk und die Zufuhr von Nährstoffen zur Bodenverbesserung hier erforderlich. Dies ist jedoch äußerst vorsichtig und nach genauer Standortökologischer Aufnahme durchzuführen, da Kalkungen die rasche Freisetzung des in großen Mengen in der Humusaufgabe gespeicherten Stickstoffs bewirken können. In der Folge bewirkt dies einen Versauerungsschub, die Verstärkung der Nährstoffungleichgewichte und die Auswaschung von Nitrat ins Grundwasser (vgl. Kap. 3.5).

Darüber hinaus wird vor allem aufgrund der künftigen Klimaänderung nicht immer auf die Naturverjüngung und die Verwendung einheimischer Arten zurückgegriffen werden können. Beispielsweise ist die anzustrebende Umwandlung der Fichtenbestände in den Mittelgebirgen in Buchenwälder häufig nur durch künstliche Verjüngung zu erreichen. Darüber hinaus kann in Einzelfällen die Anpflanzung besonders klimavariabler nicht einheimischer Baumarten notwendig sein. Derartige Eingriffe rufen jedoch eine erhebliche Veränderung der natürlichen Prozesse (z. B. der Konkurrenzverhältnisse) hervor und sollten daher nur ausnahmsweise angewendet werden.

Verminderung überhöhter Schalenwildbestände

In vielen Regionen der Bundesrepublik verursachen zu hohe Schalenwildbestände erhebliche Waldschäden. Das größte Problem stellt dabei der Verbiß von Jungpflanzen dar, der — vor allem bei Laubbäumen und Tannen — die Naturverjüngung häufig verhindert. Darüber hinaus führt der selektive Verbiß einzelner Krautpflanzen und Sträucher zur Veränderung der Konkurrenzverhältnisse. Dadurch werden Arten verdrängt, während sich andere stark ausbreiten können. So konnte zum Beispiel von Bergmann (1993) nachgewiesen werden, daß die starke Ausbreitung von Sandrohr in den Wäldern der östlichen Bundesländer auf den Verbiß anderer Krautpflanzen zurückzuführen ist.

Hinsichtlich der Wechselwirkung zwischen Klimaänderung und Wäldern stellen überhöhte Schalenwildbestände insofern ein Problem dar, als daß sie den Aufwuchs vieler Baumarten behindern und dadurch die natürliche Anpassungsfähigkeit der Wälder an künftige Klimaänderungen einschränken. Darüber hinaus sind sie ein grundlegendes Hemmnis für die Umsetzung einer naturgemäßen Waldbewirtschaftung, da diese auf die Naturverjüngung angewiesen ist und zudem kaum Schutzmaßnahmen, wie etwa das Einzäunen der Bestände, ergreifen kann (Kap. 3).

Vor diesem Hintergrund sind eine Änderung der bisherigen Jagd- und Hegepraxis in der Bundesrepublik sowie gezielte Schutzmaßnahmen (z. B. Einzäunen) notwendig. Dadurch ist zu gewährleisten, daß die Schalenwildbestände auf ein ökologisch verträgliches Maß zurückgeführt werden, das die Fähigkeit der Wälder zur natürlichen Verjüngung erhält und der Ausbreitung wildbedingter Waldschäden entgegenwirkt. Ein solches Vorgehen hätte auch den Vorteil, daß zusätzliche Kosten für die Forstwirtschaft für den Schutz vor Wildverbiß vermindert würden.

Im einzelnen ist es erforderlich, die Abschubzahlen und die Abschubplanung nach ökologischen Kriterien festzulegen. Die Enquete-Kommission schlägt daher vor:

- eine am Waldzustand orientierte Abschubplanung auf der Basis von Wildverbißgutachten einzuführen,
- eine rechtliche Einschränkung der Fütterung auf tatsächliche, populationsgefährdende Notzeiten sowie
- die Abschaffung von trophäenorientierten Abschubkriterien, die den Abschub aus ökologisch ungerechtfertigten Gründen erschweren (z. B. Schonzeitenregelung für Rehböcke).

Die Enquete-Kommission fordert die Bundesregierung und die Länder auf, ihre jagdrechtlichen Bestimmungen soweit erforderlich zu verändern.

7.4 Handlungsoptionen, Instrumente und Empfehlungen zum Schutz der borealen Wälder

Die boreale Zone ist gekennzeichnet durch einen relativ hohen Anteil an Primärwäldern („Old-Growth“). Die Besiedlungsdichte ist gering, große Gebiete sind weitgehend unerschlossen. Etwa 500 Mio. ha, das sind knapp 50 % der bestockten Waldfläche, werden vom Menschen bewirtschaftet, betreut bzw. überwacht. Auf der Vorstellung eines unerschöpflichen Waldreichtums hat sich insbesondere in den großen Flächenstaaten dieser Zone eine exploitative Kahlschlagwirtschaft entwickelt. Pro Jahr werden etwa 10 Mio. ha Wälder direkt durch Holznutzung, Aufforstungs- und Bestandspflegemaßnahmen beeinflusst. Mindestens ein Drittel davon entfällt auf Kahlschlagflächen. Dem gegenüber steht eine Wiederbewaldungsfläche (natürliche Verjüngung und Aufforstung), die in den offiziellen Statistiken größer als die Kahlschlagfläche ist. Der langfristige Erfolg der Aufforstungsbemühungen kann dabei jedoch zur Zeit nicht eindeutig beziffert werden und muß daher hinsichtlich des dargestellten Umfangs noch zweifelhaft bleiben.

Beim Einschlag wurde und wird den ökologischen Belangen der mitunter sensiblen borealen Ökosysteme zu wenig Aufmerksamkeit gewidmet. Der Einsatz schwerer Maschinen und zu große Kahlschlagflächen führen nach dem Einschlag häufig zu einer Verschlechterung der Wuchsbedingungen, so daß die Wiederbewaldung beeinträchtigt wird. Vor allem im europäischen Teil der ehemaligen Sowjetunion

kommt hinzu, daß die Regenerationsphasen zwischen zwei Einschlägen zu kurz sind. Außerdem treten hier im Umkreis großer Industrie- und Rohstoffgewinnungsgebiete großflächige emissionsbedingte Waldschäden auf.

7.4.1 Handlungsoptionen und Instrumente

Die nicht nachhaltige Art der Bewirtschaftung hat in Teilen der borealen Zone zu

- einer Beeinträchtigung der Waldfunktionen,
- einer Abnahme der bestockten Waldfläche sowie
- einer Qualitätsverminderung der (Sekundär-)Wälder geführt.

Dabei ist zu bedenken, daß hierbei die produktivsten Bestände betroffen sind, nicht nur bezüglich der Holzerzeugung, sondern auch in bezug auf andere Waldfunktionen. Eine Fortsetzung der exploitativen Kahlschlagwirtschaft droht den gesamtgesellschaftlichen Nutzen der Wälder vor allem in den betroffenen Staaten langfristig zu vermindern.

Vor diesem Hintergrund liegt die Entwicklung und Umsetzung nachhaltiger Bewirtschaftungsmethoden im Eigeninteresse der betroffenen Länder. Auf dieser Basis sollten möglichst rasch auf internationaler Ebene verpflichtende Kriterien und meßbare Indikatoren für eine nachhaltige Bewirtschaftung unter Berücksichtigung aller Waldnutzungen bzw. Bewirtschaftungsziele vereinbart werden. Ansätze dazu bieten die von der Ministerkonferenz der Europäischen Union im Juni 1993 verabschiedeten Richtlinien für die nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder in Europa (Helsinki-Abkommen; vgl. Kap. 7.2). Erste Versuche derartige Strategien auch für die borealen Wälder zu diskutieren fanden — ohne konkrete Ergebnisse — im Rahmen einer KSZE-Konferenz im September 1993 in Montreal statt.

Die Grundlage für eine nachhaltige Bewirtschaftung stellen die spezifischen Standortbedingungen dar. Diese werden neben dem Klima in erheblichem Maße durch die Böden bestimmt. Ein großer Teil der borealen Wälder stockt auf Permafrostböden, ein anderer auf Moorböden und versumpften Flächen. Entsprechend unterschiedlich sind die Produktivität und die Regenerationsfähigkeit. Vor diesem Hintergrund ist eine ökologisch orientierte Waldnutzungsplanung zu etablieren, die

- ökologisch sensible Bereiche als Schutzgebiete ausweist und vor Kahlschlägen schützt,
- auf den Erhalt der vielfältigen Funktionen der Wälder ausgerichtet und mit anderen Nutzungsansprüchen abgestimmt ist,
- verbindliche Vorgaben für die maximalen ökologisch verträgliche Kahlschlaggrößen macht,
- ein ökologisch und ökonomisch hochwertige Wiederbewaldung (durch Aufforstung oder Unterstützung der natürlichen Verjüngung) verbindlich vorschreibt sowie
- ausreichende Kontrollmechanismen vorsieht.

Die Möglichkeiten zur Umsetzung einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung sind in der borealen Zone regional sehr unterschiedlich. So bestehen zum Beispiel in Nordamerika und Nordeuropa günstige forstrechtliche und administrative Rahmenbedingungen. Zudem ermöglicht der vergleichsweise hohe Stand der Inventarisierung und Überwachung der Wälder eine geregelte und nachhaltige Bewirtschaftung. In der ehemaligen Sowjetunion besteht dagegen aufgrund der politischen und wirtschaftlichen Umbruchsituation und der Jahrzehnte lang anhaltenden zentralen Planwirtschaft weitgehende Ungewißheit über den tatsächlichen Waldbestand und dessen Nutzung. Eine geregelte Bewirtschaftung findet in vielen Gebieten nicht statt. Es ist daher dringend eine grundsätzliche Umstrukturierung und Stärkung der Forstwirtschaft notwendig, um zu einer nachhaltigen Bewirtschaftung gelangen zu können. Darüber hinaus müssen die immensen Belastungen der Wälder durch Industrieemissionen — vor allem Schwefeldioxid, Schwermetalle, Erdöl- und Erdgasverluste — drastisch vermindert werden.

7.4.2 Empfehlungen der Enquete-Kommission zum Schutz der borealen Wälder

7.4.2.1 Verstärkung der internationalen Kooperation mit den Nachfolgestaaten der ehemaligen Sowjetunion

Die Enquete-Kommission schlägt vor, die umweltpolitische und forstpolitische Zusammenarbeit zwischen den westlichen Industriestaaten und den Nachfolgestaaten der ehemaligen Sowjetunion zu intensivieren und notwendige fachliche, technologische und finanzielle Ressourcen zur Verfügung zu stellen. Dabei sind als vorrangige Handlungsfelder anzusehen:

- die drastische Verminderung der industriellen Emissionen,
- die Verringerung der Holzverluste beim Einschlag, beim Transport und bei der Verarbeitung,
- Maßnahmen zur Rehabilitation degradierter, unbestockter bzw. ungenügend bewachsener Waldflächen,
- die forstpolitische Beratung, insbesondere hinsichtlich der Begründung bzw. Förderung kommunaler Forstwirtschaft, der Forstgesetzgebung und der Überführung in eine soziale Marktwirtschaft sowie
- die Förderung der wissenschaftlichen Zusammenarbeit, insbesondere auf den Gebieten der forstlichen Klimawirkungsforschung, der Waldschadensforschung und der Harmonisierung von Umweltschutz und sozio-ökonomischer bzw. gesellschaftlicher Entwicklung im Sinne der Beschlüsse der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung (1992) und der Ministerkonferenz in Helsinki (1993).

7.4.2.2 Entwicklung und Umsetzung von Schutz- und nachhaltigen Nutzungskonzepten in den borealen Wäldern Nordamerikas

In Nordamerika wurden Änderungen in der forstlichen Praxis und Gesetzgebung eingeführt, die einen schonenderen Einschlag fördern und vor allem die Erfolge bei der Wiederbewaldung erheblich verbessern sollen. Außerdem werden in Kanada — auf einer Fläche von etwa 7 Mio. ha — in 10 Modellwäldern angepaßte Möglichkeiten für eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder entwickelt und geprüft. Ein großer Teil der künftigen Holzeinschläge basiert jedoch auf bereits vor Inkrafttreten der neuen Regelungen abgeschlossenen Konzessionsverträgen. Diese sollten den neuen Bestimmungen angepaßt werden. Bis dahin ist eine zurückhaltende Einschlagspraxis, vor allem in sensiblen Bereichen, sinnvoll.

Ein besonderer Problembereich sind die Regenurwälder an der nordamerikanischen Westküste. Diese jahrhundertealten Urwaldbestände sind aufgrund ihres Arten- und Biomassereichtums von herausragender Bedeutung für die biologische Vielfalt und den globalen Kohlenstoffhaushalt. Ihr hoher kommerzieller Wert hat dazu geführt, daß bis heute etwa die Hälfte eingeschlagen wurden (vgl. Kap. 2). Für große Teile der verbliebenen Urwaldflächen sind bereits Einschlagskonzessionen vergeben worden, so daß für die kommenden Jahre mit einer fortschreitenden Umwandlung der Old-Growth-Wälder in Sekundärwälder zu rechnen ist. Wegen der großen Bedeutung der Wälder für die Artenvielfalt und das Klima und ihrer Einmaligkeit erachtet die Enquete-Kommission ein Konzept für den weitestgehenden Schutz der noch bestehenden Primärwälder sowie die Konzentration des Einschlags auf die Sekundärwaldfläche für erforderlich. Soweit Einschläge in Regenwäldern erfolgen, müssen — vor allem angesichts der spezifischen ökologischen Verhältnisse — die Kriterien einer nachhaltigen Bewirtschaftung strikt beachtet und umweltschonende Einschlagsmethoden angewendet werden.

7.5 Handlungsoptionen, Instrumente und Empfehlungen zum Schutz der Tropenwälder ¹⁾

7.5.1 Handlungsoptionen und Instrumente

Innerhalb der vergangenen Jahre sind auf internationaler Ebene sowie in Tropenwaldländern verschie-

dene Instrumente zur Eindämmung der fortschreitenden Tropenwaldvernichtung geschaffen worden, die im folgenden kurz dargestellt und hinsichtlich ihrer Wirksamkeit beurteilt werden sollen.

7.5.1.1 Tropenforst-Aktionsprogramm (TFAP)

Das Tropenforst-Aktionsprogramm (TFAP) ist der bislang umfangreichste Versuch, die Vernichtung der Tropenwälder einzudämmen und eine geregelte Nutzung zu etablieren und gleichzeitig die Souveränität der Tropenländer zu berücksichtigen. Er wurde von der FAO unter Beteiligung der Weltbank und des World Resources Institute (WRI) erarbeitet und 1985 vorgelegt. Er ist vom Ansatz her ein völkerrechtlich unverbindlicher Rahmenplan, der als Leitlinie zur Erarbeitung von Forstsektorstrategien in den einzelnen tropischen Ländern dienen soll. Er ist zudem ein Instrument zur Koordinierung der internationalen Entwicklungszusammenarbeit, insbesondere im Forstsektor und der Entwicklung ländlicher Räume. Das Ziel des TFAP ist es, in möglichst vielen Tropenländern in einer konzertierten Aktion mit allen interessierten Staaten und Organisationen nationale Tropen-Forstwirtschafts-Aktionspläne (NFAP) zu entwickeln und umzusetzen. Auch bei diesen NFAPs handelt es sich nicht um völkerrechtliche Übereinkommen, da die Pläne auf der nationalen Ebene verabschiedet werden.

Im einzelnen sieht das TFAP-Konzept Maßnahmen in den folgenden fünf Schwerpunktbereichen vor:

- Forstwirtschaft und Landnutzung
- Entwicklung der Forst- und Holzwirtschaft
- Brennholz und Energie
- Erhaltung der Ökosysteme der tropischen Wälder
- Institutionen

Das Interesse der Tropenländer am TFAP ist ausgesprochen groß. Seit seiner Verabschiedung im Jahr 1985 haben über 90 Entwicklungsländer Interesse bekundet. Im November 1993 waren 82 Staaten im Planungs- bzw. Umsetzungsprozeß (FAO 1993d). Über 30 Staaten befinden sich in der Umsetzungsphase, wobei in vielen Ländern einzelne Projekte bereits umgesetzt werden, ohne daß der NFAP verabschiedet bzw. international abgestimmt ist.

7.5.1.2 Pilotprogramm zum Schutz der brasilianischen Regenwälder

Das Pilotprogramm zum Schutz der brasilianischen Regenwälder geht zurück auf ein im Sommer 1990 von der Bundesregierung initiiertes Angebot der EG und der G-7-Staaten an Brasilien, Maßnahmen zum Schutz der Regenwälder im Amazonasgebiet zu unterstützen. Die brasilianische Regierung griff das Angebot auf und entwickelte in Zusammenarbeit mit der EG-Kommission und der Weltbank einen umfangreichen Programmwurf. Die Finanzierung und die Umsetzungsmodalitäten wurden im Dezember 1991

¹⁾ In der 11. Wahlperiode hat die Enquete-Kommission einen umfassenden Katalog von Handlungsempfehlungen ausgearbeitet und in ihrem Bericht „Schutz der tropischen Wälder — Eine internationale Schwerpunktaufgabe“ veröffentlicht. In diesem wurden ausdrücklich die Bereiche Veränderung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, Armutsbekämpfung, Eindämmung des Bevölkerungswachstums und Veränderung der Entwicklungszusammenarbeit behandelt. Die Kommission hält die vorgeschlagenen Maßnahmen nach wie vor für unverzichtbar, um die Tropenwaldzerstörung einzudämmen. Sie sollen jedoch an dieser Stelle nicht erneut aufgeführt werden.

in Genf vereinbart, die Koordination des Programms wurde der Weltbank übertragen.

Die Hauptzielsetzung des Programms ist es, die Entwicklungsziele Brasiliens mit dem Erhalt der Regenwälder in Einklang zu bringen, eine umfassende nachhaltige Entwicklung einzuführen und die Waldvernichtungsrate kontinuierlich zu senken. Es sind im einzelnen Maßnahmen in folgenden Bereichen vorgesehen: Bewahrung und Einrichtung von Schutzgebieten (Indianergebiete, Wald- und sonstige Biotope), Ressourcenmanagement, Landnutzungsplanung, Kontrolle und Überwachung, Umweltmonitoring, Förderung von Landesumweltbehörden, Tropenwaldforschung, Umwelterziehung und Förderung von Demonstrationsprojekten brasilianischer Nichtregierungsorganisationen (NGO).

Für eine erste dreijährige Phase (1992 bis 1995) wurden Finanzmittel in Höhe von etwa 290 Mio. US-\$ zugesagt, von denen 58 Mio. US-\$ in einen von der Weltbank verwalteten Regenwald-Treuhandfonds eingehen. Der restliche Betrag verteilt sich auf bilaterale Kofinanzierungen einzelner Maßnahmen im Rahmen des Pilotprogramms sowie sogenannte „bilaterale assoziierte Projekte“, das heißt Projekte, die nicht innerhalb des Pilotprogramms entwickelt wurden, jedoch mit seinen Zielen vereinbar sind und somit bei der Finanzierung angerechnet werden. Durch diese Anrechnung sind für die eigentlichen Programmmaßnahmen Finanzierungslücken von rund 100 Mio. US-\$ aufgetreten, deren Schließung bislang noch offen ist. Die Bundesregierung steuert dem Programm insgesamt rund 175 Mio. US-\$ (ca. 285 Mio. DM) bei und trägt damit 60 % des Gesamtvolumens (Tab. 7.2).

Die Umsetzung des Programms unterliegt erheblichen zeitlichen Verzögerungen und wird von verschiedener Seite kritisiert. Dabei ist besonders problematisch, daß für die Entwicklung Amazoniens wichtige Politikbereiche wie die umstrittene Siedlungspolitik, die Regionalentwicklung oder der Straßen- und Bergbau, die teilweise mit erheblichen Eigenmitteln gefördert werden, nicht oder nicht ausreichend in die Zielsetzung und Umsetzung des Pilotprogramms ein-

bezogen sind. Insofern ist das Programm nicht sektorübergreifend, sondern zu einseitig auf den Umweltschutzbereich ausgerichtet. Wesentliche Ursachen der Tropenwaldvernichtung bleiben so weitgehend unberücksichtigt. Doch auch das zurückhaltende Interesse der meisten Geberländer und Vorbehalte der brasilianischen Regierung sind zu bemängeln.

In einer Bewertung des Pilotprogramms kommen die Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) und die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) insgesamt zu dem Schluß, daß die ursprünglich hohen Erwartungen der Geberländer auf absehbare Zeit nicht erfüllt werden. Es wird jedoch darauf hingewiesen, daß die brasilianische Regierung in den letzten Jahren durch die Abschaffung von Steueranreizen für Großprojekte und Rinderfarmen die Waldvernichtungsrate von jährlich etwa 2 100 Mio. ha im Zeitraum 1978 bis 1989 um die Hälfte auf rund 1 100 Mio. ha reduzieren konnte. Das konkrete Hilfsangebot des Pilotprogramms hat diese Entwicklung nach Ansicht der beiden Organisationen mit gefördert. Außerdem ist hervorzuheben, daß durch das Programm eine breite innerbrasilianische Diskussion über die Zukunft der Regenwälder angestoßen wurde. Insbesondere wurde die Organisation und Artikulationsfähigkeit von Kleinbauern, Gummizapfern, Indianern und Umweltschützern durch das Programm erheblich verbessert. Diese haben sich zusammen mit anderen NGO zu einer Arbeitsgruppe (Grupo de Trabalho Amazonico — GTA) zusammengeschlossen, die in die Entwicklung und Umsetzung des Programms einbezogen wird. Bereits die Bildung dieser Arbeitsgruppe hat wesentlich zur Verbesserung der Beteiligung der betroffenen Bevölkerung an der Planung und Umsetzung des Programms beigetragen.

7.5.1.3 Schuldenerleichterungen und -erlaß

Die weltweite Verschuldung der Entwicklungsländer ist im Zeitraum von 1982 bis 1993 von 775 Mrd. auf über 1400 Mrd. US-\$ gestiegen. Öffentliche, das heißt staatliche, Kredite machen dabei etwa 600 Mio. US-\$

Tabelle 7.2

Finanzierung des Pilotprogramms zum Schutz der brasilianischen Regenwälder (in Mio. US-\$)

Geber	Regenwaldfonds	Kofinanzierung	Bilat. assoz. Proj.	Gesamt
Deutschland	20,0	79,5	75,5	175,0
Großbritannien	2,3	7,0	23,4	32,7
Japan	5,7	0,0	15,5	21,2
Kanada	0,8	0,0	8,5	9,3
Niederlande	5,1	0,0	0,0	5,1
USA	10,0	2,5	10,0	22,5
EG-Kommission	14,6	9,8	0,0	24,4
Gesamtsumme	58,5	98,8	132,9	289,4

Quelle: GTZ und KfW 1993

aus, über 800 Mio. US-\$ wurden von privaten Geschäftsbanken gewährt. Die — vornehmlich in den Tropen liegenden — Länder Afrikas (ohne Ägypten und Lybien), Lateinamerikas und der Karibik sowie Asiens wiesen mit etwa 1150 Mrd. US-\$ rund 80 % der gesamten Schuldenlast auf (Deutscher Bundestag 1992).

Für die meisten Entwicklungsländer stellt die Rückzahlung der Kredite und Zinsen eine große Belastung für die öffentlichen Haushalte dar. Vor allem in Afrika — südlich der Sahara — wird dadurch die wirtschaftliche und soziale Entwicklung gefährdet. Dies wird deutlich, wenn man die Schuldensumme in Beziehung zu den Exporterlösen bzw. den gesamten öffentlichen Ausgaben der Schuldnerländer setzt. So erreichten die Zins- und Tilgungszahlungen in den Staaten Afrikas im Jahr 1991 ein Niveau von etwa 30 % der Exporterlöse und knapp 60 % der öffentlichen Ausgaben. In den lateinamerikanischen Staaten mußten knapp 40 % der Exporterlöse bzw. 64 % der öffentlichen Ausgaben für den Schuldendienst aufgewandt werden, während diese Anteile in Asien mit 7,5 bzw. 35 % relativ niedrig lagen (Deutscher Bundestag 1992).

Wenngleich sich die außenwirtschaftliche Bilanz einiger großer Schuldnerländer in den letzten Jahren verbessert hat, stellt die Lösung der Verschuldungskrise weiterhin hohe Anforderungen an die internationale Wirtschafts- und Finanzpolitik. Mit ihr würde ein wesentliches Hemmnis für eine stärker an ökologischen und sozialen Erfordernissen orientierte wirtschaftliche Entwicklung überwunden. Unter Verschuldung sollten dabei nicht nur die staatlichen und privaten Kredite für Entwicklungsmaßnahmen, sondern auch die von staatlicher Seite übernommenen Bürgschaften für Warenausfuhren, vor allem in besonders arme Länder, verstanden werden. Können die Entwicklungsländer die Waren nicht bezahlen, stellt zum Beispiel die Bundesregierung die Mittel als Kredit zur Verfügung (Hermes-Bürgschaften). Diese Kredite bleiben zur Zeit im Rahmen der Umschuldung und dem Schuldenerlaß unberücksichtigt, stellen jedoch insbesondere für besonders arme Staaten eine erhebliche Last dar.

In den vergangenen Jahren wurden auf nationaler und internationaler Ebene Maßnahmen zum Erlaß von Schulden bzw. zur Schuldenerleichterung umgesetzt. So hat die Bundesregierung seit 1978 den am wenigsten entwickelten Ländern sowie weiteren besonders armen, hochverschuldeten Ländern Afrikas Schulden aus der finanziellen Zusammenarbeit in Höhe von 9 Mrd. DM erlassen oder den Erlaß in Aussicht gestellt. Der Erlaß ist dabei meist mit der Maßgabe verbunden, die dadurch im Schuldnerland freiwerdenden Mittel zur Erhaltung der Umwelt einzusetzen. Darüber hinaus gewährt die Bundesrepublik — analog zur Praxis in anderen Geberländern — im Rahmen der finanziellen Zusammenarbeit mit den am wenigsten entwickelten Ländern ausschließlich Zuschüsse statt Kredite (Deutscher Bundestag 1993).

Auf internationaler Ebene sind vor allem die Umschuldungsverhandlungen im Pariser Club und die Umsetzung der sogenannten Brady-Initiative von Bedeu-

tung. Erstere zielen in erster Linie auf die öffentlichen Schulden ab. Dabei gewährt der Pariser Club den ärmsten Schuldnerländern — unter der Voraussetzung, daß sie zusammen mit dem Internationalen Währungsfonds (IWF) Strukturanpassungsprogramme erfolgreich durchführen — einen bis zu 50prozentigen Erlaß der Forderungen. Obwohl 72 Länder die notwendigen Kriterien erfüllen, haben bislang nur wenige von diesem Angebot profitiert (z. B. Benin, Bolivien, Honduras, Nicaragua, Tansania und Uganda) (BMZ 1994a).

Die Brady-Initiative ist vor allem auf die Reduzierung der Schulden der Entwicklungsländer gegenüber den Geschäftsbanken ausgerichtet. Sie kombiniert Schuldenstreichungen mit Neukrediten und verminderten Zins- und Rückzahlungsverpflichtungen. Damit soll die Kreditfähigkeit vor allem der Staaten mit mittlerem Einkommen wieder hergestellt werden. Bisher konnten nur wenige Länder von der Initiative profitieren. So verringerten sich die Gesamtschulden zum Beispiel der Philippinen um etwa 5 %, von Costa Rica und Uruguay um 25 %. Auch Mexiko, Venezuela und Brasilien konnten ihre Bankenschulden reduzieren (German Watch 1993, Deutscher Bundestag 1993).

Eine „Sonderform“ der Schuldenerleichterung sind die sogenannten „Depts-for-Nature-Swaps“ (Schuldenerlaß gegen Naturschutz). Dabei werden Schuldtitel eines Landes in der Regel mit starken Abschlägen von privaten Organisationen unter der Bedingung aufgekauft, daß das Schuldnerland eine bestimmte Summe in einheimischer Währung zur Finanzierung von Umweltschutzprojekten zur Verfügung stellt. Bis zum Jahr 1991 konnten auf diese Weise jedoch lediglich knapp 100 Mio. US-\$ Schulden abgebaut werden. Die Wirksamkeit darf daher nicht überschätzt werden. Schuldenerlaß gegen Naturschutz bietet jedoch in Einzelfällen eine erfolversprechende Möglichkeit, den Schuldendruck zu verringern und Mittel für ökologische Belange freizusetzen (Gerster 1992).

7.5.1.4 Globale Umweltfazilität (GEF)

Die GEF ist ein auf deutsch-französische Initiative zurückgehender Finanzierungsmechanismus zur Unterstützung von Maßnahmen zur Eindämmung des Treibhauseffektes, zur Erhaltung der Artenvielfalt, zum Schutz der Ozonschicht und der internationalen Gewässer in Entwicklungsländern. Maßnahmen zum Tropenwaldschutz sind in den ersten beiden Bereichen enthalten. Die GEF soll das zentrale Finanzierungsinstrument für die in Rio unterzeichneten Konventionen sein und die zusätzlich entstehenden Kosten zum Nutzen der globalen Umwelt abdecken. Sie wird von der Weltbank in Zusammenarbeit mit dem Entwicklungsprogramm und dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNDP und UNEP) verwaltet (BMZ 1994b).

Die GEF wurde 1990 für eine dreijährige Pilotphase (1991 — 1994) eingerichtet und sollte zunächst mit rund 1,5 Mrd. US-\$ ausgestattet werden. Die tatsächlichen Beiträge beliefen sich auf 1,13 Mrd. US-\$, wovon 322 Mio. US-\$ in Form von Kofinanzierungen aus der bilateralen Entwicklungszusammenarbeit

aufgebracht wurden. Der zentrale GEF-Fonds verfügte lediglich über gut 800 Mio. US-\$. Bis zum Oktober 1993 wurden 113 Projekte im Wert von 727 Mio. US-\$ unterstützt. Etwa 42 % der Mittel wurden für den Erhalt der Artenvielfalt verwendet, 40 % für Maßnahmen gegen die Klimaänderung, 17 % für den Schutz internationaler Gewässer und 1 % für den Schutz der Ozonschicht (in Ländern, die durch das Montreal-Protokoll nicht erfaßt sind). Wegen der Ansiedlung der GEF bei der Weltbank und der starken Position der Geberländer ist sie bei den meisten Entwicklungsländern auf Kritik gestoßen. Diese hatten die Schaffung von konventionsspezifischen Einzelfonds gefordert.

Im März 1994 wurde eine Wiederauffüllung auf 2 Mrd. US-\$ für die Periode 1994 bis 1997 beschlossen. Kofinanzierungen aus der bilateralen Entwicklungszusammenarbeit werden nicht mehr angerechnet. Die Wiederauffüllung blieb erheblich unter der im Rahmen der UNCED in Aussicht gestellten Erhöhung des ursprünglichen Volumens um das Zwei- bis Dreifache. Die Bundesregierung hatte sich damals für eine Aufstockung auf 3 Mrd. Sonderziehungsrechte (das sind etwa 4,2 Mrd. US-\$) eingesetzt.

Über die Wiederauffüllung hinaus verständigten sich die inzwischen über 70 Teilnehmerstaaten auf eine neue Entscheidungsstruktur, die unter anderem mit dem „GEF-Rat“ ein Entscheidungsgremium vorsieht, dem je 16 Vertreter aus den Geber- und den Empfängerländern angehören (je 6 aus Afrika und Asien, 4 aus Lateinamerika, 2 aus mittel- und osteuropäischen Staaten und 14 aus den westlichen Industrieländern). Entscheidungen im „GEF-Rat“ sollen möglichst einvernehmlich erfolgen. Bei Mehrheitsentscheidungen wird ein zweistufiges, gewichtetes Mehrheitssystem angewandt. Danach kommt eine Entscheidung zustande, wenn 60 % der durch die im Rat vertretenen Länder zustimmen und diese Mehrheit gleichzeitig 60 % der Beiträge zum GEF-Treuhandfonds repräsentiert. Industrie- und Entwicklungsländer können sich dadurch gegenseitig nicht überstimmen (BMZ 1994b).

7.5.1.5 Internationales Tropenholz-Übereinkommen (ITTA) und Internationale Tropenholzorganisation (ITTO)

Das ITTA ist ein Rohstoffabkommen, das 1983 von 36 Erzeugerländern und 34 Verbraucherländern von Tropenholz verabschiedet wurde. Es dient im wesentlichen wirtschaftspolitischen Zielsetzungen, wie etwa der Stabilisierung der Tropenholzmärkte, weist jedoch als einziges Rohstoffabkommen auch ökologische Aspekte auf. In ihm wurde zudem die Einrichtung der Internationalen Tropenholz-Organisation (ITTO) festgelegt, die als Forum für die Zusammenarbeit zwischen Erzeuger- und Verbraucherländern dienen soll. Die Laufzeit des ersten Abkommens war auf Ende April 1994 begrenzt. Im Januar 1994 einigten sich die Mitgliedsstaaten des Abkommens auf einen neuen Vertragstext. Eines der Hauptziele der Verbraucherländer war es, im neuen ITTA das „Ziel 2000“ der ITTO aufzunehmen, wonach bis zum Jahr 2000 alle exportierten Tropenhölzer und Tropenholz-

produkte aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern stammen sollen. Es wurde jedoch lediglich vereinbart, die Möglichkeiten der Erzeugerländer hinsichtlich des Exports von Tropenholz und Tropenholzprodukten aus nachhaltiger Bewirtschaftung zu verbessern.

7.5.1.6 Einführung eines Labels für Tropenholz aus nachhaltiger Bewirtschaftung

Innerhalb der letzten Jahre wurde von verschiedener Seite versucht, die Grundlagen zur Einführung eines Tropenholzlabels für Hölzer und Produkte aus nachhaltig bewirtschafteten Tropenwäldern zu schaffen. Die Vergabe eines solchen Labels könnte sowohl an Länder als auch an Regionen oder Betriebe erfolgen, die sich zur nachhaltigen Bewirtschaftung verpflichtet haben. Bislang scheitert die Einführung insbesondere an den weiterhin nicht festgelegten Kriterien für eine nachhaltige Bewirtschaftung und an der Frage der Kontrollmöglichkeiten. In einem neuen Vorstoß soll der von der „Initiative Tropenwald“²⁾ entworfenen Kriterien- und Prüfkatalog in mehreren Modellprojekten in allen drei großen Tropenzonen hinsichtlich seiner Vollständigkeit, Akzeptanz und Umsetzbarkeit geprüft werden. Die Ergebnisse sollen 1995 vorliegen und in den Prozeß in der Kommission für nachhaltige Entwicklung (CSD) eingespeist werden.

7.5.2 Empfehlungen der Enquete-Kommission zum Schutz der Tropenwälder

7.5.2.1 Bewertung der bisherigen Bemühungen auf der Basis der Empfehlungen der Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“

Die Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ hat in ihrem Bericht „Schutz der tropischen Wälder“ umfassende Handlungsempfehlungen erarbeitet, die zum Ziel hatten, die Tropenwaldvernichtung bis zum Jahr 2000 zumindest unter das Niveau von 1980 abzusenken und die Waldfläche in den Tropen bis zum Jahr 2010 wieder auf das Niveau von 1990 auszudehnen (EK 1990a). Auf dieser Grundlage sieht die Kommission in den bisherigen Bemühungen zum Schutz der tropischen Wälder lediglich Ansätze, die in wesentlichen Teilen Korrekturen und Ergänzungen bedürfen.

So wurde das von der Enquete-Kommission vorgeschlagene Sofort-Programm zum Schutz der Tropenwälder mit einem jährlichen Finanzvolumen von 750 Mio. DM nicht realisiert. Die Entwicklung und Umsetzung eines solchen Programms sieht die Enquete-Kommission jedoch nach wie vor als notwendig an. Ebenso wurde die Empfehlung zur Einrichtung eines Treuhandfonds zum Schutz der Tropenwälder nicht umgesetzt. Dieser sollte über ein jährliches Volumen von 10 Mrd. DM verfügen und vom Umwelt-

²⁾ Die „Initiative Tropenwald“ (ITW) ist ein Zusammenschluß der Gewerkschaft Holz und Kunststoff (GHK), des Vereins Deutscher Holzeinfuhrhäuser (VDH) und des Hauptverbandes der Deutschen Holz- und Kunststoffe verarbeitende Industrie (HDH).

programm der Vereinten Nationen (UNEP) verwaltet werden. Zwar wurde mit der Globalen Umweltfazilität (GEF) ein Finanzierungsmechanismus auch zum Schutz der Tropenwälder geschaffen, doch blieb dessen Ausstattung weit hinter dem erforderlichen Maß zurück. Ungeachtet der durch die Wiederauffüllung und Umstrukturierung erreichten Fortschritte ersucht die Enquete-Kommission die Bundesregierung, sich auf internationaler Ebene mit Nachdruck für eine stufenweise Aufstockung der GEF auf mindestens 5 Mrd. US-\$ und eine stärkere Berücksichtigung des Tropenwaldschutzes einzusetzen (vgl. Kap. 7.7).

Das Konzept des Tropenforst-Aktions-Programms wurde trotz schwerwiegender Einwände bislang nur unwesentlich verändert. Die Enquete-Kommission hat das TFAP-Konzept in ihrem Tropenwaldbericht kritisiert und die Geberorganisationen aufgefordert, „stärker auf die nationalen Administrationen Einfluß zu nehmen, damit die im Land existierenden NGOs und die vor Ort betroffene Bevölkerung schon im Planungsstadium mit einbezogen und beteiligt werden“ (EK 1990a, S. 604). Darüber hinaus war sie der Ansicht, daß anstelle des TFAP und der bestehenden NFAPs dringend die Ausarbeitung von Tropenwaldschutzplänen erforderlich sei. Diese sollten vorse-

- möglichst große Teile der tropischen Wälder als Primärwälder zu erhalten und in wesentlich größerem Umfang als bisher Schutzgebiete einzurichten,
- die Mitwirkung der lokalen Bevölkerung und auch die Beteiligung indigener Gesellschaften an der Entwicklung nationaler Tropenwaldschutzpläne zu gewährleisten,
- die frühzeitige und umfassende Einbeziehung der Nichtregierungsorganisationen
- Aufforstungsmaßnahmen voranzutreiben und
- ausschließlich nachhaltige Bewirtschaftungsmethoden einzusetzen.

Trotz der erheblichen Einwände gegen das TFAP blieb eine grundlegende Änderung der Zielsetzung aus. Zwar wurden in einigen Ländern stärker an ökologischen und sozialen Kriterien ausgerichtete NFAP beschlossen (z. B. Kamerun), doch weist das Gesamtprogramm weiterhin erhebliche Mängel auf und trägt somit wenig zum Schutz und zur nachhaltigen Bewirtschaftung der Wälder bei. Die Enquete-Kommission fordert vor diesem Hintergrund die Bundesregierung und die Europäische Union auf, sich in den zuständigen internationalen Gremien und Institutionen für die Umsetzung der oben genannten Reformvorschläge einzusetzen.

Auch das im April 1994 verabschiedete neue Tropenholzabkommen weist erheblich Mängel auf und bedarf dringend einer stärkeren ökologischen Orientierung. Das Abkommen fällt hinter die Beschlüsse der UNCED zurück und rückt ab vom ITTO-Ziel, bis zum Jahr 2000 nur noch Tropenholz aus nachhaltiger Waldbewirtschaftung zu handeln. Die Enquete-Kommission empfiehlt, die Ratifizierung des Abkommens von einer verbindlichen Aufnahme von Schutzmaß-

nahmen und Maßnahmen zur Förderung der nachhaltigen Bewirtschaftung abhängig zu machen und fordert die Bundesregierung auf, sich im Rahmen ihrer Mitarbeit in der ITTO für eine entsprechende Änderung und Ergänzung des Abkommens einzusetzen.

In diesem Zusammenhang mißt die Enquete-Kommission der Einführung eines Labels für Tropenholz und Tropenholzprodukte aus nachhaltiger Bewirtschaftung eine entscheidende Bedeutung bei. Eine solche Kennzeichnung kann der besseren Information der Konsumentinnen und Konsumenten dienen und gleichzeitig als Anreiz zur Umstellung auf nachhaltige Bewirtschaftungsformen in den Tropen wirken. Sie erfüllt jedoch erst ihren Zweck, wenn man sich auf internationaler Ebene auf verbindliche und nachprüfbar Kriterien für eine nachhaltige Bewirtschaftung verständigt und wirksame Kontroll- und Sanktionsmechanismen geschaffen hat. Diese Vereinbarungen müssen den ökologischen, sozialen und kulturellen Belangen Rechnung tragen und verbindlich festgeschrieben sein (vgl. Kap. 7.7). Von entscheidender Bedeutung ist die frühzeitige und umfassende Berücksichtigung der Interessen und Bedürfnisse der lokalen Bevölkerung.

Das Pilotprogramm zum Schutz der brasilianischen Regenwälder ist nach Ansicht der Enquete-Kommission — trotz der bisherigen erheblichen Probleme bei der Umsetzung — grundsätzlich geeignet, den Schutz und die nachhaltige Bewirtschaftung der Regenwälder in Brasilien und ein nachhaltiges Entwicklungsmodell für Amazonien wesentlich zu fördern. Dies gilt insbesondere, weil darin die Bedürfnisse der Bevölkerung (vor allem Kleinbauern, Indianer und Gummizapfer) durch die intensive Zusammenarbeit mit den NGO berücksichtigt werden (Fatheuer 1993).

Die Enquete-Kommission erwartet von der Bundesregierung, daß sie sich verstärkt dafür einsetzt, daß die Finanzierung des Programms auch seitens der anderen Geberländer sichergestellt wird. Darüber hinaus sollte die Bundesregierung konkrete Vorschläge für die weitere Umsetzung des Programms entwickeln und mit den beteiligten Staaten abstimmen.

Auf der Grundlage der Erfahrungen soll die Bundesregierung vergleichbare Schutzprogramme für andere Tropenwaldländer bzw. -regionen anregen und ausarbeiten.

Die Initiativen zur Lösung des Verschuldungsproblems blieben hinter den Forderungen der Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ zurück. Zwar konnte durch Schuldenerlaß und Umschuldungsverhandlungen die Kreditwürdigkeit vieler hochverschuldeter Staaten wieder hergestellt werden. Dennoch bleibt das Schuldenproblem in weiten Teilen ungelöst und bedarf weitergehender Initiativen. Die Enquete-Kommission fordert die Bundesregierung auf, sich auf der internationalen Ebene für weitergehende Schuldentreibungen — insbesondere in Ländern, die den Schutz der Umwelt und speziell der Wälder zu einem Schwerpunkt ihrer Politik gemacht haben — einzusetzen. Darüber hinaus soll die Bundesregierung Entschuldungsmaßnahmen über das bisherige Maß hinaus durchführen. Dabei sind auch die im Rahmen der Hermes-Bürgschaften

gewährten Kredite mit zu berücksichtigen. Des weiteren ist auf Eigenanstrengungen der Schuldnerländer hinzuwirken, zum Beispiel auf die Reduzierung der Militärausgaben.

Darüber hinaus empfahl die Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ die Ausarbeitung und Verabschiedung einer Internationalen Konvention zum Schutz der Tropenwälder. Die Entwicklung der internationalen Waldschutzpolitik zeigte jedoch, daß nur eine Konvention zum Schutz aller Wälder dem globalen Problem der Waldvernichtung und -degradation gerecht werden kann. Diese Auffassung wird von der Enquete-Kommission geteilt und nachdrücklich unterstützt (vgl. Kap. 7.7).

Über diese Forderungen hinaus, sieht es die Enquete-Kommission als notwendig an, im Rahmen einer zu erweiternden partnerschaftlichen globalen Kooperation die folgenden Maßnahmen umzusetzen.

7.5.2.2 Globale Analyse und kritische Bewertung der bi- und multilateralen Bemühungen zum Tropenwaldschutz

Die Ergebnisse der internationalen Bemühungen zum Schutz der Tropenwälder variieren von Fall zu Fall und können in ihrer Gesamtheit bislang kaum abgeschätzt werden. Vor diesem Hintergrund sieht es die Enquete-Kommission als unerlässlich an, möglichst rasch eine systematische Auswertung der vorliegenden Erfahrungen im Tropenwaldschutz durchzuführen. Diese sollte von einer kompetenten internationalen Institution in Zusammenarbeit mit den nationalen Regierungen und Nichtregierungsorganisationen durchgeführt werden und einer besseren Koordinierung und Abstimmung der bi- und multilateralen Aktivitäten in diesem Bereich dienen.

7.5.2.3 Entwicklung und Umsetzung einer sozial- und umweltverträglichen Landnutzungsplanung in den Tropenwaldländern

Der wirksame Schutz und die nachhaltige Bewirtschaftung tropischer Wälder ist aus Sicht der Enquete-Kommission am besten im Rahmen einer umweltverträglichen und von der lokalen Bevölkerung akzeptierten Landnutzungsplanung zu erreichen. Die Kommission erkennt an, daß diese Planung das souveräne Recht der tropischen Ländern selbst ist. Sie ersucht jedoch die Bundesregierung, im Rahmen der Entwicklungszusammenarbeit auf die Entwicklung und Umsetzung von Landnutzungsplänen hinzuwirken. In den Plänen sollten nach Ansicht der Kommission zumindest konkrete Festlegungen über die Ausweisung von Schutzzonen sowie die Flächen, die für eine nachhaltige landwirtschaftliche bzw. eine waldwirtschaftliche (Holz- und Nicht-Holz-Produkte) Nutzung zu Verfügung stehen, gemacht werden. Dies muß auf der Basis der lokalen und regionalen ökolo-

gischen, sozialen, kulturellen und ökonomischen Situation unter umfangreicher und frühzeitiger Beteiligung der betroffenen Bevölkerung erfolgen.

7.5.2.4 Entwicklung und Umsetzung tragfähiger Schutzkonzepte

Die Einrichtung von Schutzzonen ist das effektivste Instrument zur Erhaltung der biologischen Vielfalt (Vielfalt der Arten, der Ökosysteme und genetische Vielfalt) und anderer wichtiger Funktionen der Wälder in allen Klimazonen (z. B. Wasser- und Bodenschutz). Etwa 5 % der tropischen Feuchtwälder besitzen einen Schutzstatus. Angesichts des Beitrags dieser Wälder zur globalen biologischen Vielfalt ist der Anteil wesentlich zu klein. Es sollte zunächst eine Verdopplung angestrebt werden. Dabei ist auf eine ausreichende Größe und genaue Abgrenzung der Schutzgebiete sowie deren Verbindung über sogenannte Korridore zu achten. Wegen der zu geringen Fläche der bislang ausgewiesenen Schutzgebiete, ist das langfristige Überleben vor allem der Säugetierpopulationen gefährdet.

Die Ausweisung von Schutzgebieten dient nicht nur ökologischen, sondern auch kulturellen, wissenschaftlichen, sozialen und ökonomischen Zwecken. Dabei sind je nach prioritärem Schutzzweck mehr oder weniger intensive Eingriffe des Menschen möglich. Oberstes Ziel muß dabei die Ausrichtung nach den Bedürfnissen der im und vom Wald lebenden Bevölkerung sein. Im einzelnen können Schutzgebiete die folgenden Funktionen erfüllen:

- Schutz der biologischen Vielfalt,
- Schutz der Böden,
- Schutz von Wassereinzugsgebieten und des Wasserkreislaufs,
- Erhaltung erneuerbarer Ressourcen,
- Förderung von Ausbildung, Erziehung und Forschung,
- Erhaltung einer lebenswerten Umwelt unter Bewahrung traditioneller und kultureller Werte sowie von Naturdenkmälern sowie
- Förderung von wald- und naturverträglichem Tourismus und von Erholungsmöglichkeiten.

Ausgewiesene Schutzgebiete können nur erhalten werden, wenn sie von der betroffenen Bevölkerung akzeptiert werden. Daher ist von Anfang an die Einbindung der Bevölkerung in die Planung und Umsetzung von Schutzgebieten sicherzustellen. Eventuelle Nutzungsverzichte sind zum Beispiel durch alternative Nutzungsmöglichkeiten zu kompensieren.

Schutzgebiete müssen durch einen auch im nationalen Recht gültigen rechtlichen Status abgesichert werden (z. B. als Naturpark oder Biosphärenreservat) und nach einem abgestuften Schutz- und Nutzungskonzept zoniert werden. Das streng geschützte Kerngebiet sollte dabei zusammen mit der umgebenden

Pufferzone, in der umweltschonende Nutzungsformen (z. B. sanfter Tourismus) möglich sind, eine administrative Einheit bilden. Diese sollte von einem Bereich umgeben sein, der in erster Linie einer nachhaltigen Bewirtschaftung unterliegt. Nur durch diese Kombination aus Schutz- und Nutzungsfunktionen kann sowohl den Bedürfnissen der Bevölkerung als auch den ökologischen Notwendigkeiten Rechnung getragen werden. Diese Zielsetzung gilt im übrigen nicht allein für Tropenwälder, sondern sollte in allen Wäldern angewandt werden.

Darüber hinaus müssen die zuständigen Behörden für ihre Aufgaben ausreichend vorbereitet und mit den notwendigen finanziellen, technischen und personellen Ressourcen ausgestattet sein. In weiten Teilen der Tropen ist diese Voraussetzung nicht erfüllt. Die Enquete-Kommission sieht daher im Aufbau einer starken, funktionsfähigen und gut ausgebildeten Waldadministration eine der wichtigsten Aufgabengebiete der internationalen Kooperation.

7.5.2.5 Entwicklung und Umsetzung nachhaltiger Bewirtschaftungsmethoden

Gerade die äußerst artenreichen Wälder in den feuchten Tropen bieten eine Fülle von Nutzungsmöglichkeiten. Dies reicht vom Sammeln bestimmter Früchte, der Gewinnung von Ölen, Kautschuk und anderen Rohstoffen bis hin zum Holzeinschlag. Dabei können die Nischholzprodukte den ökonomischen Wert der Holzmenge deutlich übersteigen. Diese von zahlreichen, vor allem indigenen, Völkern seit langem praktizierten waldverträglichen Nutzungsformen sind zu schützen und zu fördern. Dabei hat sich zum Beispiel in Amazonien die Ausweisung von Gebieten, die dem Sammeln von Kautschuk vorbehalten bleiben, bewährt. Sie dient gleichermaßen dem Schutz der Wälder als auch der Verbesserung der ökonomischen und sozialen Situation der Waldbevölkerung. Durch derartige Maßnahmen könnten auch für andere Nischholzprodukte die Absatzchancen auf den regionalen und internationalen Märkten wesentlich erweitert werden.

Ob eine nachhaltige Holznutzung der artenreichen Primärwälder in den feuchten Tropen möglich ist, ist äußerst problematisch und kann nicht generell beantwortet werden. In jedem Fall spielen nachhaltige Methoden beim Holzeinschlag in tropischen Wäldern bislang nur eine marginale Rolle. Es ist daher dringend erforderlich, diese weiterzuentwickeln und in die Praxis umzusetzen. Dabei ist zu bedenken, daß jede forstwirtschaftliche Nutzung tendenziell zum Verlust von Arten führt. Eine biologische Nachhaltigkeit im Sinne einer ungestörten Erhaltung der natürlichen Ökosysteme mit der gesamten Artenvielfalt ist nur über absolute Schutzgebiete zu erreichen. Forstwirtschaftliche Nachhaltigkeit sichert dagegen die Produktion von Holz und anderen Waldprodukten, den Erhalt der Waldfläche und ihrer Funktion für den Bodenschutz, den Wasserhaushalt und das globale Klima (Kohlenstoffeinbindung). Die Enquete-Kommission sieht es vor diesem Hintergrund als dringend erforderlich an, den Holzeinschlag auf der Basis von

Landnutzungsplänen weitestgehend auf eine nachhaltige Bewirtschaftung von Sekundärwäldern zu reduzieren, während die verbliebenen Primärwälder so weit wie möglich (Bevölkerungsdruck) durch tragfähige Schutzkonzepte (s. o.) langfristig zu erhalten sind.

7.5.2.6 Ausweitung von umweltverträglichen und von der Bevölkerung akzeptierten Aufforstungen

Zur Zeit werden, laut FAO (1993c) pro Jahr lediglich etwa 2,6 Mio. ha Wald neu aufgeforstet. Dabei handelt es sich im wesentlichen um Industrieholzplantagen. Mindestens ein Drittel dieser Aufforstungen schlägt fehl. Die Enquete-Kommission sieht in einer erheblichen Verstärkung der Aufforstungsmaßnahmen in den Tropen eine der wichtigsten Aufgaben der internationalen forstlichen Kooperation.

Unter der Voraussetzung, daß sie nach den Bedürfnissen der lokalen Bevölkerung ausgerichtet sind und den standortökologischen Erfordernissen entsprechen, weisen Neuaufforstungen die folgenden positiven Effekte auf:

- Verbesserung der Einkommensmöglichkeiten und der Versorgung (z. B. Brennholz) der Bevölkerung,
- ökologische Verbesserungen (Boden, Wasser- und Naturschutz),
- Verminderung des Nutzungsdrucks auf verbliebene Primärwälder,
- Einbindung atmosphärischen Kohlendioxids in der Biomasse.

Um diese Effekte zu erreichen und die Neuaufforstungen im notwendigen Maße auszudehnen, müssen die finanziellen, personellen und administrativen Rahmenbedingungen erheblich verbessert werden. Dazu bedarf es einer rechtlich abgesicherten engen globalen Kooperation, die in eine Internationale Konvention zum Schutz der Wälder aufgenommen werden soll (Kap. 7.7). Dabei sind die folgenden Aktivitäten von höchster Priorität:

- Ausbildung von Fachpersonal und Stärkung der Forstadministration,
- Förderung und Erstellung von Landnutzungsplänen,
- Bereitstellung finanzieller Mittel, Technologie und Know-how,
- Entwicklung und Umsetzung sozial- und umweltverträglicher Aufforstungskonzepte,
- Überwachung und Erfolgskontrolle von Aufforstungsmaßnahmen,
- Bewußtseinsbildende Maßnahmen, die das Verständnis für die Sinnhaftigkeit von Aufforstungen wecken,
- Sicherung einer genetisch vielfältigen und artenreichen Saatgutproduktion.

Zur Finanzierung derartiger Maßnahmen sind innerhalb der GEF Finanzmittel bereitzustellen. Als mögliche Finanzquellen bieten sich, neben zu erhöhenden Länderbeiträgen, das Aufkommen aus einer einzuführenden Abgabe auf nicht nachhaltig produzierte Hölzer und Holzprodukte sowie aus einer einzuführenden CO₂/Energiesteuer an. In den Nehmerländern sollte in der Regel eine finanzielle Eigenbeteiligung an Aufforstungsprojekten gewährleistet sein. Als Quelle kommen hier zum Beispiel die von den Forstbetrieben zu erstattenden Konzessionsabgaben in Betracht.

Die Kosten für Aufforstungen machen im Mittel näherungsweise 3 000 bis 5 000 US-\$ pro Hektar aus (etwa 400 bis 500 US-\$ reine Anpflanzungskosten, etwa 2 000 bis 5 000 US-\$ Pflege-, Kontroll- und Schutzmaßnahmen, vgl. Kap. 6). Um eine nennenswerte Ausweitung der globalen Aufforstungsbemühungen zu erreichen, sind daher pro Jahr mindestens 2 Mrd. US-\$ aufzubringen. Ein Teil davon wird in Zukunft über die Vermarktung der erzeugten Produkte wieder erwirtschaftet.

Die Vergabe der Mittel muß nach sozialen und ökologischen Zielsetzungen und durch ein von allen beteiligten Staaten akzeptiertes Gremium erfolgen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die notwendigen personellen, rechtlichen und administrativen Voraussetzungen in der Regel noch zu schaffen sind. Entsprechend muß die Ausbildung von Fachkräften und die Stärkung der staatlichen Institutionen einen Schwerpunkt darstellen. Als Vergabekriterien für Aufforstungsprojekte sollte das Vorhandensein verbindlicher Landnutzungspläne, die Verwendung einheimischer, standortgerechter Baumarten, die Einbeziehung der lokalen Bevölkerung, ausreichende Kontrollmöglichkeiten sowie sozial- und ökologisch verträgliche Betriebsziele und Bewirtschaftungsmethoden (z. B. Schutzpflanzungen, Agroforstwirtschaft, nachhaltige Rohstoffgewinnung) herangezogen werden. Grundsätzlich sind multifunktionale Aufforstungen monofunktionalen, nur auf ein Ziel ausgerichteten Aufforstungen, vorzuziehen.

7.5.2.7 Festschreibung nachprüfbarer Kriterien für nachhaltig erzeugte Holzprodukte und Einführung eines Tropenholzlabels

Die Nachhaltigkeit der Tropenwaldbewirtschaftung muß möglichst rasch durch die Festschreibung verbindlicher Kriterien und nachprüfbarer Indikatoren konkretisiert werden. Da der Wissensstand über die komplexen ökologischen Zusammenhänge insbesondere in den tropischen Wäldern sich ständig erweitert, müssen diese Kriterien in Zukunft regelmäßig überprüft werden.

Die bisher vorliegenden Entwürfe für Kriterienkataloge erfüllen diese Anforderungen nur zum Teil. Sie benennen zumeist lediglich die Zielsetzungen und allgemeinen Anforderungen einer nachhaltigen Holznutzung. Nur selten werden konkret nachprüfbare Indikatoren genannt. Die detailliertesten Vorschläge enthalten die Kriterienkataloge der Initiative Tropen-

holz (ITW), der Soil Association (SA) und der Rainforest Allianz (RALL). Auf dieser Basis sollte sich die Bundesregierung weiterhin auf internationaler Ebene dafür einsetzen, daß ein international anerkannter und in der Praxis geprüfter Kriterienkatalog für die nachhaltige Holznutzung zustandekommt. Dieser sollte zumindest enthalten:

- Kriterien für die nachhaltige Bewirtschaftung und die nachzuprüfenden Indikatoren,
- Festlegungen über die vorrangige Berücksichtigung bestehender Nutzungsansprüche der lokalen Bevölkerung sowie über deren Einbindung in die Nutzungsplanung sowie
- Kontroll- und Sanktionsmöglichkeiten.

Insbesondere muß der Katalog das Ziel verfolgen, die Einschnitte in Primärwälder zu vermindern, den ökologischen Erfordernissen Rechnung zu tragen und die Bedürfnisse der lokalen Bevölkerung voll zu berücksichtigen. Diesen Punkten wird in den bisherigen Entwürfen zu wenig Bedeutung beigemessen.

Außerdem betont die Enquete-Kommission, daß derartige Kriterienkataloge für die nachhaltige Nutzung von Wäldern gleichzeitig auch für die Wälder außerhalb der Tropen vereinbart werden müssen, um zu einem einheitlichen Standard der Holzgewinnung in allen Waldökosystemen zu gelangen.

7.6 Klima- und umweltverträgliche Holzverwendung

Holz ist ein vielseitig einsetzbarer und hochwertiger Rohstoff. Im Rahmen einer nachhaltigen Bewirtschaftung ist er darüber hinaus umweltschonend und CO₂-neutral zu erzeugen und zu entsorgen. Der bisherige Umgang mit dem Rohstoff Holz hat in vielen Regionen zu erheblichen Umwelt- und Waldschäden sowie zur Ausbildung einer wenig effizienten und damit umwelt- und klimabelastenden Holzverwendung geführt. In Zukunft gilt es, den auf der Basis einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung gewonnenen Rohstoff Holz sparsam, effizient und umweltschonend zu nutzen. Möglichkeiten dazu sollen im folgenden vorgestellt werden.

7.6.1 Handlungsoptionen und Rahmenbedingungen

Das weltweite Holzaufkommen hat sich laut FAO (1993b) in den 80er Jahren von knapp 3 Mrd. m³ auf etwa 3,5 Mrd. m³ erhöht. Davon entfallen etwa 1,6 Mrd. m³ auf die Tropen, 0,6 Mrd. m³ auf die boreale und 1,1 Mrd. m³ auf die gemäßigte Zone. Die tatsächlich eingeschlagene Holzmenge kann jedoch kaum beziffert werden, da in diesen Daten einerseits Holzverluste (z. B. beim Einschlag und Transport) nicht berücksichtigt sind. Andererseits umfaßt das Holzaufkommen auch einen erheblichen Teil an Sammelholz, das — vornehmlich in den Tropen — als Brennstoff dient. Dieser Anteil macht fast die Hälfte des gesamt-

ten Holzaufkommens aus. Die andere Hälfte wird zu Fertigprodukten (z. B. Möbel, Fenster) und Halbfertigprodukten (z. B. Schnittholz, Zellstoff) weiter verarbeitet. Der größte Teil des Einschlags dürfte auf tropische und boreale Naturwälder entfallen. Es ist zu erwarten, daß der Holzbedarf bis zum Jahr 2000 weit stärker anwächst als in den vergangenen Jahrzehnten.

Von der weltweiten Waldfläche (ca. 3,5 Mrd. ha) gilt etwa die Hälfte als wirtschaftlich nutzbar. Davon entfallen etwa 1 Mrd. ha auf die Tropen und 0,9 Mrd. ha auf die außertropischen Wälder. Die übrigen Waldflächen scheiden aufgrund ihrer physischen Ausstattung bzw. rechtlicher Vorschriften für eine holzwirtschaftliche Nutzung aus (UN-ECE/FAO 1992a, EK 1990a). Der scheinbare Holzreichtum stellt die Basis für die in der Regel optimistische Einschätzung der zukünftigen Versorgung dar. Im wesentlichen geht man dabei davon aus, daß das Holzangebot auch eine in Zukunft rasch wachsende Nachfrage decken kann. Ökonomische und vor allem ökologische und soziale Einschränkungen bleiben jedoch weitgehend unberücksichtigt. Diesen muß jedoch in Zukunft eine prioritäre Rolle eingeräumt werden, da

- der fortschreitende Verlust von Primärwäldern, in denen der größte Teil der Holzvorräte stockt, unweigerlich gravierende ökologische, soziale und klimatische Folgen hätte und daher eingedämmt werden muß,
- mangelnde Aufforstungsmaßnahmen in den Tropen und Teilen der borealen und gemäßigten Breiten eine wesentliche Steigerung der weltweit aus Sekundärwäldern gewonnenen Holzmenge mittelfristig nicht ermöglichen,
- im Rahmen der Umsetzung nachhaltiger Bewirtschaftungsmethoden in vielen Regionen eine Verringerung der Einschlagsintensität dringend erforderlich ist,
- die erhebliche räumliche Konzentration des Einschlags das Entstehen regionaler Holzdefizite fördern wird (So kann sich die Zahl der holzexportierenden Tropenländer bis zum Jahr 2000 von 33 auf unter 10 vermindern [Postel und Ryan 1991]),
- die Holznachfrage, sofern keine Gegenmaßnahmen ergriffen werden, in Zukunft nicht nur in den Industrieländern, sondern auch in vielen Entwicklungsländern rasch ansteigen wird,
- die durch die Klimänderung sowie direkte anthropogene Eingriffe hervorgerufenen Waldschäden zunehmen werden sowie
- künftig Teile der Wälder unter die Kontrolle der traditionell dort lebenden, zumeist indigenen Bevölkerung gestellt werden müssen.

Wenngleich auch in Zukunft nicht von einem globalen Holz-mangel auszugehen ist, so ist eine Einschränkung des Holzverbrauchs dringend geboten, um den Erhalt der Waldfunktionen und den Schutz von Primärwäldern zu gewährleisten. Als Anhaltspunkt kann dabei eine Studie von Friends of the Earth (1994)

dienen, nach der bis zum Jahr 2010 bei einer Weltbevölkerung von vermutlich 7 Mrd. Menschen und unter der Voraussetzung, daß Primärwälder nicht eingeschlagen, Sekundärwälder nachhaltig bewirtschaftet und der Holzbedarf gleichmäßig auf alle Länder verteilt ist, jedem Menschen statistisch 0,4 m³ Holz jährlich zur Verfügung stünden. Zur Zeit liegt der Pro-Kopf-Verbrauch an Holz in den Industrieländern bei 1,1 m³ und in den Entwicklungsländern bei 0,8 m³ (davon 0,7 m³ Brennholz) pro Jahr.

Vor diesem Hintergrund leitet sich, ungeachtet regionaler Holzüberschüsse in den Wäldern, insgesamt die Notwendigkeit ab, den weltweiten Holzverbrauch auf ein ökologisch und sozial verträgliches Maß zu reduzieren und das eingeschlagene Holz einer klima- und umweltpolitisch sinnvollen und vor allem höchst effizienten Nutzung zuzuführen. Dazu können effizientere Einschlag-, Transport- und Verarbeitungsmethoden einen erheblichen Beitrag leisten. Darüber hinaus müssen an die Stelle der in den vergangenen Jahrzehnten rapide angewachsenen Produktion kurzlebiger, oftmals für den einmaligen Gebrauch bestimmter, Holzprodukte in Zukunft verstärkt ökologisch vorteilhafte, langlebige Produkte (Bauteile, Möbel, etc.) treten. Außerdem bietet die energetische Nutzung, insbesondere von überschüssigem Schwachholz und Produktionsrückständen, eine klimapolitisch und ökonomisch sinnvolle Nutzungsmöglichkeit.

7.6.1.1 Effiziente Nutzung des eingeschlagenen Holzes

Der letztlich in die Produkte eingehende Anteil der eingeschlagenen Holzmenge variiert regional erheblich. Während in der ehemaligen Sowjetunion bis zu 50 % des Holzes bereits beim Transport in die holzverarbeitenden Betriebe verloren geht, stellt in anderen Regionen ein wenig effizienter Verarbeitungsprozeß die Hauptverlustquelle dar. In Südostasien gehen zum Beispiel bei der Produktion von Sperrholzplatten nur 40 % des verarbeiteten Holzes in das Endprodukt ein, während dieser Anteil in den westlichen Industriestaaten bis zu 70 % beträgt (Postel und Ryan 1991). Es existieren folglich erhebliche Einsparpotentiale, die vor allem durch die Einführung verbesserter Technologien erschlossen werden können.

Auch im Baubereich liegen in vielen Ländern erhebliche Einsparpotentiale. So werden zum Beispiel in Japan Holzverschalungen zum Betongießen (diese machen etwa ein Drittel des gesamten japanischen Sperrholzverbrauchs aus) oftmals nur wenige Male benutzt, obwohl sie aus hochwertigem Tropenholz gefertigt werden. Außerdem kann die im Hausbau anfallende Holzabfallmenge verringert werden. Sie beträgt zum Beispiel in Kanada durchschnittlichen rund 850 kg pro Einfamilienhaus (Postel und Ryan 1991). Daten über die möglichen Einsparungspotentiale für Holz liegen bislang lediglich für die Vereinigten Staaten vor, die den weltweit größten Pro-Kopf-Verbrauch an Holz aufweisen (Tab. 7.3). Demnach könnte der Holzverbrauch durch eine effiziente Nutzung hier halbiert werden.

Tabelle 7.3

Einsparpotentiale für Holz durch Steuerung der Nachfrage

Aktivitäten	Einsparung in Mio. Festmetern
Verbesserte Effizienz bei der Verarbeitung	
— Sägewerke	114,3
— Sperrholzfabriken	10,6
Vermeidung der Verschwendung beim Bauen	26,1
Verringerung von Einwegprodukten (z. B. Verpackung)	68,5
Verdoppelung des Papierrecyclings	12,5
Einsparung insgesamt	232,0
US-Verbrauch gesamt	460,4
Anteil des Einsparpotentials am Gesamtverbrauch	50,4 %

Quellen: Postel und Ryan 1991

7.6.1.2 Vermeidung und Wiederverwertung von Produkten aus Papier und Pappe

Seit den 50er Jahren hat sich der Verbrauch von Papier und Pappe insbesondere in den Industrieländern drastisch erhöht. In Europa steigerte sich der jährliche Pro-Kopf-Verbrauch in diesem Zeitraum von etwa 20 kg auf rund 130 kg. Wie Tabelle 7.4 verdeutlicht, liegt der Verbrauch in vielen Regionen noch weit über diesem Wert.

Tabelle 7.4

Pro-Kopf-Verbrauch an Papier und Pappe in ausgewählten Ländern

Land oder Region	Verbrauch ¹⁾ Kilogramm/Jahr	Recyclingrate ²⁾ Prozent
Vereinigte Staaten	317	29
Schweden	311	40
Kanada	247	20
Bundesrepublik Deutschland	200	40—50
Japan	204	50
Norwegen	151	27
Sowjetunion	35	19
Lateinamerika	25	32
China	12	21
Afrika	5	17
Indien	2	26

¹⁾ 1988.

²⁾ Anteil des recycelten Altpapiers am Gesamtpapierverbrauch; Daten von 1987.

Quellen: FAO, EG-Kommission (zit. in Postel und Ryan 1991).

Das enorme Wachstum im Papiermarkt hat zu einer Einschlagserhöhung in den Wäldern geführt und bis dahin wirtschaftlich wenig interessanten Schwachholzbeständen einen lukrativen Markt verschafft. Ein erheblicher Teil der Produkte aus Papier und Pappe ist für einen einmaligen Gebrauch bestimmt. Die in vielen Ländern wachsenden Bestrebungen, die Wiederverwertung von Altpapier auszuweiten, hat den Anteil von Recycling-Papieren am Gesamtverbrauch auf durchschnittlich etwa 30 % erhöht. In Japan, der Bundesrepublik Deutschland und einigen anderen Industriestaaten liegt die Quote in etwa zwischen 40 und 50 %. Die technisch maximal erreichbare Quote wird auf 75 bis 85 % geschätzt (Friends of the Earth 1994).

Darüber hinaus stellt eine Steigerung des Restholzeinsatzes in der Papierproduktion eine umweltpolitisch sinnvolle Option dar. Bereits heute wird ein erheblicher Teil des Papiers aus den Abfällen der Sägewerke und Holzbetriebe gewonnen. Als Ausgangsstoff wird jedoch, neben Schwachholz aus Durchforstungen, auch Holz aus intensiv bewirtschafteten Plantagen (Eukalyptus u. a.) sowie aus schwach bestockten Urwäldern verwendet. Die mangelhafte Datenlage macht es unmöglich, den jeweiligen Anteil der Holzquellen an der Papierproduktion zu quantifizieren. Für eine ökologische Bewertung wäre dies jedoch dringend erforderlich.

Ein großes Potential zur Holzeinsparung bietet die in den vergangenen Jahrzehnten stark angewachsene Zellstoffproduktion. Heute werden durchschnittlich etwa 5 m³ Holz zur Produktion einer Tonne Zellstoffs verbraucht. Die eingesetzte Holzmenge läßt sich durch die Umstellung auf umweltschonendere mechanisch-thermische Verfahren in etwa halbieren, bei gleichzeitiger Entlastung der Gewässer.

Eine Erhöhung des Anteils von Recycling-Papier und der sparsame Umgang mit Papierprodukten und Pappe kann global zu einer Verminderung der Einschlagstätigkeit vor allem in Wäldern mit geringem Holzzuwachs führen. Sie stellt zudem einen Anreiz zu einer Effizienzsteigerung bei der Verarbeitung höherwertiger Hölzer dar, da sich der Absatzmarkt für Abfallprodukte verringern würde. Einer logistischen, rechtlichen und technischen Verbesserung des Altpapiersektors und einer Verbesserung der Absatzchancen für Recycling-Produkte ist daher ein hoher Stellenwert beizumessen. Dadurch würden gleichzeitig die mit der Zellstoff- und Papierproduktion verbundenen erheblichen Gewässer- und Luftbelastungen reduziert.

7.6.1.3 Energetische Nutzung von Holz und Holzabfällen

In vielen Ländern, vor allem im Bereich der Tropen, ist Holz der wichtigste Energieträger (vgl. Tab. 7.6). Doch auch in einigen Industrieländern, zum Beispiel in den USA, Finnland und Österreich, werden bedeutende Energiemengen durch die Verbrennung von Holz und Holzabfällen gewonnen (vgl. Kap. 6.3.4). Unter der Voraussetzung einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Wälder ist die Holzverbrennung CO₂-neutral. Sie

Tabelle 7.6

**Anteil von Brennholz am gesamten
Energieverbrauch ausgesuchter Länder**

Region	Land	Holzanteil in % am gesamten Energieverbrauch
Afrika	Burkina Faso	96
	Kenia	71
	Malawi	93
	Nigeria	82
	Sudan	74
	Tansania	92
Asien	Indien	33
	Indonesien	50
	Nepal	94
Lateinamerika	Brasilien	20
	Costa Rica	33
	Nicaragua	50
	Paraguay	64

Quelle: EK 1990 a

vermindert den Einsatz von fossilen Energieträgern und damit die CO₂-Emission. Die energetische Nutzung von Holz muß vor dem Hintergrund großer regionaler Unterschiede in der Holzverfügbarkeit differenziert betrachtet werden.

In den wechselfeuchten Tropen hat der große Bedarf an Brennholz regional zur Entwaldung und Walddegradation geführt. Bei in Zukunft weiter steigender Nachfrage gilt es in diesen Mangelgebieten, Brennholz soweit wie möglich zu ersetzen sowie effizient zu nutzen und die dann noch erforderliche Menge durch geeignete Aufforstungs- und Nutzungskonzepte bereitzustellen. In Ländern mit Holzüberschüssen ist dagegen eine verstärkte Holzverwendung im Energiebereich zur Substitution von fossilen Energieträgern anzustreben.

Energieversorgung in den Holz-mangelgebieten

Für etwa 2 Mrd. Menschen ist Brennholz heute die wichtigste Energiequelle. Davon können etwa 100 Mio. Menschen ihren Bedarf nicht mehr ausreichend decken und weitere 1000 Mio. Menschen sind auf die Verfeuerung von Ernterückständen angewiesen. Es ist zu befürchten, daß bis zu 2 Mrd. Menschen im Jahr 2000 unter akutem Brennholz-mangel leiden werden (Zech u. a. 1989). Neben regional stark ansteigenden Bevölkerungszahlen ist vor allem die äußerst geringe Aufforstungsrate einer der Hauptgründe für den Brennholz-mangel. Diese ist unter anderem auf die häufig niedrigen Brennholzpreise zurückzuführen, die eine Investition in Aufforstungsmaßnahmen unrentabel machen. Häufig sind Aufforstungen erst bei einem drastischen Rückgang des natürlichen Holzvorrates im größerem Umfang durchsetzbar.

Um dem sich abzeichnenden gravierenden Brennholz-mangel entgegenzuwirken, bestehen folgende drei Handlungsoptionen, die sich gegenseitig ergänzen müssen:

- Effizientere Energieausnutzung und Brennholzeinsparung
- Substitution von Brennholz durch andere Energieträger
- Verbesserung des Brennholzangebotes.

Dabei ist hervorzuheben, daß dort, wo Menschen bereits aufgrund einer nicht ausreichenden Energieversorgung in ihren Lebens- und Ernährungsgewohnheiten stark eingeschränkt sind, der Verbesserung des Lebensstandards Priorität gegenüber der Einsparung von Brennholz einzuräumen ist.

Eine effizientere Energieausnutzung und Brennholzeinsparung kann in erster Linie über die Einführung holzsparender Herde und Öfen erreicht werden. Die dadurch erzielbaren Einsparpotentiale werden auf 30 bis 50 % geschätzt. Die bisherigen Programme haben gezeigt, daß als Voraussetzung für eine erforderliche großflächige Verbreitung effizienter Öfen und Herde

- ein bereits spürbarer Holz-mangel existieren muß,
- lange Sensibilisierungs-, Werbe- und Beratungskampagnen durchgeführt werden müssen
- die notwendige Kaufkraft in der Bevölkerung vorhanden sein muß sowie
- eine breite Akzeptanz der Benutzer erreicht werden muß.

Zur Substitution von Brennholz stehen entweder fossile Quellen oder solare Nutzungssysteme zur Verfügung. Grundsätzlich werden die Substitutionsmöglichkeiten durch die geringe Kaufkraft der Benutzer, Devisenmangel der betroffenen Staaten sowie Akzeptanzprobleme eingeschränkt. Eine wirksame Erhöhung des Anteils fossiler Energieträger erscheint nur sinnvoll, wenn das betroffene Land selbst über nutzbare fossile Lagerstätten verfügt. In solchen Fällen liegt die Hauptaufgabe beim Aufbau geeigneter Transport-, Lager- und Verteilungssysteme. Solare Systeme (z. B. Kochkisten) stoßen zum Teil auf kulturelle Schranken (z. B. werden warme Mahlzeiten häufig abends eingenommen). Darüber hinaus bedürfen sie einer langen, an die kulturellen Bedingungen angepaßten Werbe- und Aufklärungskampagne und sind in ihrer Herstellung und Handhabung stärker auf die spezifischen Bedürfnisse und Gelegenheiten auszurichten.

Einsparungs- und Substitutionsmaßnahmen können in absehbarer Zeit einen Anstieg des Brennholzbedarfs nicht verhindern. Daher sind dringend Maßnahmen zur Verbesserung der Brennholzversorgung erforderlich. Die potentiell geeigneten Aufforstungsflächen in den Tropen werden von Zech u. a. (1989) auf maximal rund 400 Mio. ha geschätzt. Diese befinden sich jedoch häufig nicht in den Gebieten mit hohem Brennholzbedarf. Zudem werden sie in erheblichem Maße zur Steigerung der landwirtschaftlichen

Produktion benötigt, so daß Aufforstungen hier in besonderem Maße auf Akzeptanzprobleme stoßen. Brennholz aus bewirtschafteten Aufforstungen ist darüber hinaus oftmals zu teuer für die lokale Bevölkerung. Um die Akzeptanz und den Nutzen für die lokale Bevölkerung zu erhöhen, bieten sich vor allem kleinräumige, dörfliche Aufforstungsmaßnahmen sowie die Intensivierung von Baumkulturen im Rahmen agroforstwirtschaftlicher Nutzungssysteme an (vgl. Abschnitt B, Kap. 4.3). Darüber hinaus können Brennholzdefizite durch Einführen aus Überschußgebieten bzw. aus holzverarbeitenden Betrieben ausgeglichen werden. Hierzu sind jedoch in der Regel die Transportmöglichkeiten erheblich zu verbessern.

Energetische Holznutzung in den Industrieländern

In den Industrieländern wird eine Ausweitung der Energiegewinnung auf der Basis von Holz als eine Maßnahme zur Verminderung der CO₂-Emissionen diskutiert. Abschätzungen über die zu erreichenden Potentiale variieren erheblich. In der Bundesrepublik Deutschland könnten mittelfristig zum Beispiel maximal etwa 3,5 % des Primärenergiebedarfes durch die Biomassenutzung (davon über die Hälfte durch Holz) abgedeckt werden. Dabei sind ökonomische, soziale und ökologische Hemmnisse nicht berücksichtigt. Im einzelnen schwankt das verwertbare Energiepotential von Holz in Abhängigkeit von den folgenden Faktoren:

— Die Art der Holzerzeugung

Hierbei ist zu unterscheiden zwischen der Anlage von Kurzumtriebsplantagen mit schnellwachsenden Baumarten (z. B. Eukalyptus, Pappel), der Nutzung von Restholz aus Durchforstungs- oder landschaftspflegerischen Maßnahmen und der Verwertung von Holzabfällen bzw. Altholz.

— Die Art der energetischen Verwertung

Holz kann direkt zur Erzeugung von Wärme und Strom verfeuert oder indirekt über die Vergasung oder Alkoholgewinnung genutzt werden.

Bei der energetischen Nutzung von Holz müssen die ökonomischen und ökologischen Effekte gleichermaßen berücksichtigt werden. Wenn Plantagen intensiv bewirtschaftet werden und einen hohen Arbeits- und Kapitalkaufwand erfordern, können zum Beispiel wegen des notwendigen Pestizid- und Düngemiteleinsatzes erhebliche Umweltschäden eintreten. Ihre Kohlenstoffbilanz kann bislang nicht abgeschätzt werden. Dem zeitweise eingebundenen Kohlenstoff in der lebenden Biomasse steht auf Dauer zumeist ein Verlust von Bodenkohlenstoff gegenüber. Außerdem erfordert die Pflege einen hohen Energieeinsatz (Düngemittel, Transport etc.). Allein die Produktion von einer Tonne Ammonium führt nach einer Berechnung von Sittig (1979) zur Freisetzung von etwa 4 t CO₂. Neben den ökologischen Risiken wird der Einsatz von Holz aus Schnellwuchsplantagen durch die mangelnde ökonomische Wettbewerbsfähigkeit eingeschränkt. Zur Zeit beginnt die Wirtschaftlichkeit der Wärmeenergiegewinnung auf der Basis von Plantagenholz — ohne Berücksichtigung möglicher Um-

weltschäden — bei einem Ölpreis von 45 US-\$ pro barrel. Demgegenüber kann nachhaltig erzeugtes Waldholz bereits bei einem Ölpreis von 25 US-\$ pro barrel rentabel genutzt werden. Bereits seit längerem wirtschaftlich ist der Einsatz von Abfall- und Industrie-restholz, insbesondere in Holzverarbeitenden Betrieben. Neben den geringen Brennstoffkosten ist dies auf die gleichzeitige Einsparung von Entsorgungskosten zurückzuführen (IMA 1993).

Technologisch ausgereift und rentabel ist mittelfristig nur die Verbrennung von Holz. In Österreich werden zum Beispiel 360 Anlagen im Megawattbereich mit einer installierten Leistung von 1400 MW betrieben. Neben Holz werden auch Rückstände aus der Papier- und Zelluloseindustrie sowie Stroh verfeuert. Problematisch können die Emissionen aus Holzverbrennungsanlagen sein. Der CO₂-Neutralität und dem Fehlen von SO₂-Emissionen steht eine, gegenüber der Nutzung fossiler Energieträger, höhere Freisetzung von Staub, Kohlenmonoxid, PAK (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) sowie von extrem toxischem Dioxin gegenüber. Insbesondere kann die Verbrennung von Alt- und Restholz aufgrund auftretender Verunreinigungen in Form von Kunststoffresten, Lackierungen u. ä. erhöhte Emissionsrisiken hervorrufen. Bei der Nutzung naturbelassenen Holzes geht dagegen nach Messungen im Auftrag des Schweizer Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft die entstehende Dioxinmenge auf Werte um 0,1 ng/m³ zurück. Dessenungeachtet muß der Betrieb von Holzverbrennungsanlagen immer an eine strenge rechtlich vorgeschriebene Abluftreinigung gebunden sein, um Umweltbelastungen zu verhindern.

7.6.2 Nationale Rahmenbedingungen und Handlungsfelder

Die wirtschaftliche Situation im Forstbereich der Bundesrepublik Deutschland hat sich in den vergangenen Jahren wesentlich verschlechtert. Dies ist im wesentlichen auf die Entwicklung des Holzmarktes zurückzuführen. Darüber hinaus haben jedoch auch Fehlentwicklungen im Forstbereich selbst mit dazu beigetragen. So ist ein wesentlicher Teil der Ertragseinbußen darauf zurückzuführen, daß instabile Waldbestände mit hohem Betriebsrisiko angelegt wurden. Gerade diese Bestände wurden in den vergangenen Jahren besonders stark durch Stürme geschädigt.

Die Holzvorräte in den Wirtschaftswäldern der Bundesrepublik Deutschland werden von Burschel u. a. (1993) auf der Basis der Bundeswaldinventur 1986 bis 1990 und des Waldfonds der ehemaligen DDR (Stand 1985) auf rund 2,7 Mrd. m³ geschätzt. Der jährliche Zuwachs kann wegen erheblicher methodischer Probleme nur mit Unsicherheiten beziffert werden. Er dürfte in etwa 57 Mio. m³ Holz betragen. Eine Analyse des Holzmarktes der Bundesrepublik Deutschland (Ollmann 1993b) beziffert den nationalen Gesamtverbrauch von Holz und Holzprodukten auf jährlich 88 Mio. m³ (RHÄ), so daß theoretisch etwa zwei Drittel des Holzbedarfes aus eigenen Quellen abgedeckt werden könnten. Die Studie zeigt im einzelnen die folgenden kennzeichnenden Tendenzen im deut-

schen Holzmarkt (alle Mengenangaben in Rohholz-äquivalenten — RHÄ):

Der Holzverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland ist seit den 50er Jahren kontinuierlich von etwa 40 Mio. m³/Jahr auf rund 88 Mio. m³/Jahr³⁾ angestiegen. Der Anstieg ist auf die rapide Steigerung des Verbrauchs von Papier-, Pappe- und Zellstoffprodukten zurückzuführen (von ca. 10 Mio. m³ im Jahr 1955 auf rund 45 Mio. m³ im Jahr 1992). Seit 1985 geht der größte Teil der Holzmenge in den Papier-Sektor ein.

Die Zunahme des Holzverbrauchs wirkte sich nicht auf die einheimische Holzproduktion aus. Der Einschlag in den deutschen Wäldern liegt seit den 60er Jahren in etwa bei 30 Mio. m³/Jahr. Dagegen stieg die importierte Holzmenge von etwa 20 Mio. m³ im Jahr 1960 auf über 80 Mio. m³ in den 90er Jahren an. Die Ausweitung des Altpapiereinsatzes in den letzten vier bis fünf Jahrzehnten von etwa 5 auf rund 20 Mio. m³ (berechnet als äquivalente Holzmenge) spielte im Vergleich dazu eine geringere Rolle.

Der Ausweitung der Holzeinfuhr stand eine gleichzeitige Steigerung der Ausfuhr von Holz- und Holzprodukten von knapp 10 Mio. m³ auf rund 50 Mio. m³ gegenüber, so daß die mengenmäßige Außenhandelsbilanz sich lange Zeit nur langsam zugunsten der Importe verschob. Seit Beginn der 90er Jahre ist jedoch eine rapide Zunahme der Nettoeinfuhr auf knapp 30 Mio. m³/Jahr zu verzeichnen. Auch die Entwicklung der Ein- und Ausfuhren verlief im Papier-Sektor wesentlich rasanter. Der Import von Papier, Pappe und Zellstoff belief sich in den 50er Jahren auf eine äquivalente Holzmenge von 5 Mio. m³. Bis 1990 verzehnfachte er sich. Die jährliche Ausfuhr wuchs im gleichen Zeitraum von etwa 2 Mio. m³ auf rund 35 Mio. m³.

Konkrete Angaben über die Aufteilung der verbrauchten Holzmenge auf die verschiedenen Produkte sind nur für den Papier-Sektor zu machen. Die deutsche Papierindustrie verbrauchte 1992 rund 3,7 Mio. t Zellstoff. Davon wurden 97 % importiert. Der größte Teil davon (26 %) stammte aus Schweden, etwa 23 % aus Kanada. (VDP 1993). Mit einem Verbrauch von rund 16 Mio. t Papier, Pappe und Karton — das entspricht einem Pro-Kopf-Verbrauch von etwa 200 kg/Jahr — ist die Bundesrepublik weltweit der drittgrößte Konsument. Der Importanteil beträgt knapp 50 %. Der Gesamtverbrauch verteilt sich wie folgt auf die verschiedenen Produktgruppen (VDP 1993):

Pappe und Verpackungspapiere	40 %
Massendruckpapiere (ohne Zeitungen)	27 %
Zeitungsdruckpapiere	14 %
Büropapiere	8 %
Spezialpapiere	6 %
Hygienepapiere	5 %

³⁾ Die 40 Mio. m³ beziehen sich nur auf das frühere Bundesgebiet. Von den 88 Mio. m³ entfallen etwa 18 Mio. m³ auf die neuen Länder.

Über die Aufteilung des Holzverbrauchs in anderen Bereichen bestehen weitgehende Wissensdefizite. Burschel u. a. (1993) schätzen, daß in etwa jeweils 30 % des in Deutschland eingeschlagenen Holzes im Baubereich und zur Produktion von Papier und Pappe verwendet werden. Rund 20 % gehen in die Herstellung von Möbeln und anderen Holzprodukten ein. Ein Viertel des Holzes wird verfeuert, davon jedoch nur ein verschwindend geringer Anteil in Form einer kommerziellen Energieerzeugung. Dieser ist nach Angaben der IMA (1993) so unbedeutend, daß er bislang keinen Eingang in die offiziellen Energiestatistiken gefunden hat.

Zusammenfassend läßt sich festhalten, daß sowohl unter ökonomischen als auch unter klimapolitischen und ökologischen Gesichtspunkten eine Veränderung der Rahmenbedingungen des Holzmarktes dringend erforderlich ist. Dabei ist nicht die Steigerung der Holzverwendung, sondern die Beseitigung von Hemmnissen, die eine positive Rückwirkung der Verbrauchszunahme auf die Holzwirtschaft verhindert haben, anzustreben. Im einzelnen sind die folgenden Handlungsfelder von besonderer Bedeutung:

- Verminderung des Verbrauchs von kurzlebigen Holzprodukten und Erhöhung der Wiederverwertungsquoten.
- Schaffung neuer, umweltverträglicher Absatzmärkte für die nationale Holzwirtschaft.
- Förderung der energetischen Nutzung von Restholz und Holzabfällen sowie von Waldholz auf der Basis einer nachhaltigen Bewirtschaftung.

7.6.3 Handlungsempfehlungen der Enquete-Kommission im Bereich klima- und umweltverträglicher Holzverwendung

7.6.3.1 Maßnahmen auf der internationalen Ebene

Internationale Kooperation zur Verminderung des Verbrauchs und zur umweltschonenden Produktion von kurzlebigen Holzprodukten

Die Enquete-Kommission sieht in der Schaffung vergleichbarer ökologischer Standards für Produkte und Halbfertigprodukte aus Holz eine wichtige Aufgabe für die internationale Staatengemeinschaft. Dies gilt insbesondere für die Bereiche Zellstoff-, Holzstoff- und Papierproduktion. Dabei sollen die Entwicklung und Einführung effizienter und umweltschonender Technologien sowie Maßnahmen zur Verringerung des Frischholzbedarfes im Vordergrund stehen. Im einzelnen sind die folgenden Vereinbarungen anzustreben:

- Maßnahmen zur Verminderung des Verbrauchs kurzlebiger Produkte aus Holz sowie zur öffentlichen Bewußtseinsbildung (in den Industrieländern),
- Förderung und Einführung emissionsarmer und ressourcenschonender Produktionsverfahren im Bereich Zellstoff- und Papierherstellung,

- Förderung des Einsatzes von Altpapier und Holzresten,
- Angabe der für die Produktion verwendeten Rohstoffe (Altpapier, Holzreste, Durchforstungsholz, Holz aus Primärwäldern),
- Festlegung verbindlicher und nachprüfbarer Standards als Grundlage für die Vergabe eines Labels für umweltverträgliche Produkte aus Holz,
- Zusammenarbeit im Bereich der Forschung und Einführung umweltschonender Technologien,
- Finanz- und Technologietransfer in betroffene Entwicklungsländer im Rahmen abzuschließender Abkommen.

Die Enquete-Kommission ersucht die Bundesregierung, sich für das Zustandekommen derartiger Vereinbarungen auf der internationalen Ebene mit Nachdruck einzusetzen.

Verbesserung der Brennholzversorgung in Entwicklungsländern

Die Enquete-Kommission empfiehlt der Bundesregierung, ihre bisherigen Initiativen zur Abmilderung der Brennholzkrisen in vielen Staaten vor allem der wechselfeuchten Tropen zu verstärken und

- an die Bedürfnisse der lokalen Bevölkerung angepasste Energiesysteme, insbesondere auf der Basis von Solarenergie sowie
- geeignete Strategien zur Erhöhung der Akzeptanz und der großflächigen Einführung dieser Systeme fortzuentwickeln.

Darüber hinaus sollte die Bundesregierung, auch im Rahmen der Verhandlungen über eine Internationale Konvention zum Schutz der Wälder, auf die Ausarbeitung, Finanzierung und Umsetzung eines internationalen Aufforstungsprogrammes — wie es in Kapitel 7.5.2.6 skizziert ist — dringen. Im Zentrum müssen dabei kleinräumige dörfliche Aufforstungen im Rahmen von agroforstwirtschaftlichen Projekten stehen. Die eigenen Anstrengungen der Bundesregierung im Rahmen der bilateralen Zusammenarbeit sind zu verstärken.

7.6.3.2 Maßnahmen auf der nationalen Ebene

Verminderung des Papier-, Karton- und Zellstoffverbrauchs und Erhöhung des Altpapiereinsatzes

Mit einem jährlichen Pro-Kopf-Verbrauch von über 200 kg Papier- und Kartonprodukten liegt die Bundesrepublik Deutschland über einer nachhaltig zu erzeugenden Menge. Die Enquete-Kommission empfiehlt der Bundesregierung vor diesem Hintergrund geeignete Strategien zur Bedarfsminderung und zur Erhöhung des Altpapiereinsatzes zu entwickeln. Wesentliche Punkte müssen dabei

- die Reduzierung von Verpackungen,

- vorbildliches Verhalten der öffentlichen Einrichtungen und Verwaltungen (ausschließliche Verwendung von Recyclingpapieren) sowie

- die öffentliche Bewußtseinsbildung sein.

Gleichzeitig müssen die Anstrengungen zur Erhöhung des Einsatzes von Altpapier und Holzresten bei der Papierproduktion verstärkt werden. Ziel muß dabei die Steigerung des Altpapiereinsatzes auf über 60 % sein. Dazu ist die seit längerem diskutierte Altpapierverordnung umgehend auszuarbeiten und umzusetzen. In dieser sollten folgende Punkte festgelegt werden:

- Priorität der stofflichen Wiederverwertung von Altpapier, sofern die energetische Verwertung durch Verbrennen nicht umweltverträglicher ist.
- Mindesteinsatzquoten von Altpapier in den verschiedenen Produktbereichen nach dem jeweiligen Stand der Technik,
- Festschreibung von Qualitätsstandards für Papierprodukte, um deren Wiederverwertbarkeit sicherzustellen,
- Verpflichtung von Handel und Industrie zur Trennung von Papieren unterschiedlicher Qualität,
- Maßnahmen zur Vergrößerung des Absatzmarktes für Recycling-Produkte, zum Beispiel im öffentlichen Beschaffungswesen.

Diese ordnungsrechtlichen Vorgaben sind durch eine verstärkte Förderung der Forschung und Entwicklung in folgenden Bereichen

- Qualitätserhöhung von Recycling-Papieren,
- Emissionsminderung und Ressourcenschonung bei der Papier- und Zellstoffproduktion (z. B. Sulfid-Verfahren, Sauerstoffbleiche, energetische Verwertung der Abfälle),
- Anpassung und Verbesserung der drucktechnischen Möglichkeiten an die Erfordernisse einer an der maximalen Wiederverwertung von Altpapier orientierten Wirtschaftsweise,
- Marktforschung,

zu ergänzen.

Förderung der Herstellung umweltfreundlicher Holzprodukte

Im Rahmen einer nachhaltigen Bewirtschaftung erzeugtes Holz ist ein vielfältig einsetzbarer, hochwertiger und umweltfreundlicher Rohstoff. Die aktuellen Marktbedingungen stellen jedoch ein Hemmnis für die ökonomisch und ökologisch sinnvolle Holzverwendung dar, da sie die ökologischen und sozialen Schäden durch die nicht nachhaltige Holzproduktion nicht berücksichtigen. Dadurch erlangen nicht nachhaltig erzeugte Hölzer Wettbewerbsvorteile. Die Enquete-Kommission fordert die Bundesregierung auf, sich mit Nachdruck für die Beseitigung derartiger Hemmnisse einzusetzen. Neben der Festlegung verbindlicher und nachprüfbarer Kriterien für die nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder in allen Klimazonen (vgl. Kap. 7.2) sind dabei Maßnahmen auf

nationaler Ebene zu ergreifen. Diese sollen gleichermaßen die Fortentwicklung der nachhaltigen Waldbewirtschaftung sicherstellen und die Wettbewerbsfähigkeit und Absatzmöglichkeiten der nationalen Forstbetriebe verbessern.

Die Enquete-Kommission sieht es in diesem Zusammenhang als dringend erforderlich an, die vielfältigen landschaftspflegerischen und sozialen Leistungen der Waldwirtschaft anzuerkennen und angemessen zu vergüten. Dazu sind Modelle zur Entschädigung der Waldwirtschaft für die durch Industrie-, Verkehrs- und landwirtschaftliche Emissionen entstandenen Waldschäden zu entwickeln. Eine Voraussetzung dafür ist die Monetarisierung der von der Waldwirtschaft erbrachten sozialen und ökologischen Leistungen. Naturgemäße Bewirtschaftungsmethoden sollen dabei stärker begünstigt werden als konventionelle Methoden.

Darüber hinaus ist von staatlicher Seite die Schaffung neuer Absatzmärkte für umweltverträgliche Produkte zu unterstützen. Die Enquete-Kommission schlägt dazu die folgenden Maßnahmen vor:

- Einrichtung von Modellprojekten zur Erhöhung der nationalen Zellstoffproduktion mit hohen Umweltstandards auf der Basis von in der Region erzeugten Hölzern aus nachhaltiger Bewirtschaftung.
- Herbeiführung von Selbstverpflichtungen von Holzverarbeitenden Betrieben zur vorrangigen Abnahme von Holz aus nationaler Produktion.
- Überprüfung der baurechtlichen Bestimmungen hinsichtlich einer Ausweitung der Verwendung von Holzbauteilen.

Förderung der energetischen Nutzung von Holz und Holzresten

Durch die energetische Nutzung von Holz aus nachhaltiger Bewirtschaftung können sowohl die CO₂-Emissionen vermindert als auch die Absatzmöglichkeiten der Forstwirtschaft verbreitert werden.

Die Enquete-Kommission hat bereits 1993 eine Initiative zur Erschließung des heute noch brachliegenden Potentials an energetisch nutzbarer Biomasse angeregt und die Bundesregierung um die Realisierung der folgenden Maßnahmen ersucht:

- Erfassung der diversen Einzelpotentiale hinsichtlich ihrer regionalen Dichte und damit des Aufwandes zur Sammlung, um eine ausreichend konzentrierte Nutzung und eine positive energetischen Gesamtbilanz zu erreichen.
- Die Umweltverträglichkeitsprüfung der verschiedenen Arten der Nutzung von Biomasse und kohlenstoffhaltigen Abfällen hinsichtlich der Auswirkung auf Luft, Wasser und Boden.
- Die Sichtung, Bewertung und Bündelung der — auch in Nachbarländern — vorliegenden Erfahrungen mit den entsprechenden Technologien einschließlich der Verwertung der resultierenden

Reststoffe zum Teil als hochwertiger Dünger, zum Teil als Baustoffe.

- Die Förderung einzelner, beispielhafter Pilotanlagen für die verschiedenen Techniken in Richtung einer Markteinführung.
- Die förderliche Kooperation der regionalen Energieversorgungsunternehmen mit den potentiellen Betreibern von Biomasse-Heizkraftwerken.

Die Nutzung von Holz und Holzabfällen war Bestandteil dieses Vorschlages. Dabei wurde geschätzt, daß das energetische Potential in etwa 100 PJ (für Holzabfälle) und etwa 40 PJ (für Holz) beträgt. Davon ist heute lediglich rund 1 PJ erschlossen. Durch geeignete Maßnahmen könnte sich dieser Anteil bis zum Jahr 2005 auf 40 PJ (bei Holzabfällen) und 10 PJ (bei Holz) erhöhen und bis zur Mitte des kommenden Jahrhunderts auf insgesamt 100 PJ ausgeweitet werden.

Die Bundesregierung schätzt das Biomasse-Verbrennungspotential aufgrund der erheblichen Schwachholzüberschüsse und der Möglichkeiten zum Anbau nachwachsender Energieträger auf stillgelegten Landwirtschaftsflächen höher ein. Sie verweist jedoch angesichts der relativ hohen Kosten der energetischen Biomassenutzung auf erhebliche Wettbewerbsnachteile (IMA 1993). Dessenungeachtet sieht die Enquete-Kommission Möglichkeiten, insbesondere Holz und Holzabfälle einer energetischen Nutzung zuzuführen. Dies ist wirtschaftlich und daher unmittelbar anzustreben, wenn damit gleichzeitig Entsorgungskosten entfallen. Die Kommission ersucht die Bundesregierung daher, die oben genannten, zum Teil bereits aufgegriffenen, Maßnahmen zügig fortzuführen und die Wettbewerbsfähigkeit durch die Einführung einer CO₂/Energisteuer zu verbessern.

7.7 Internationale Konvention zum Schutz der Wälder

Um den Schutz und die dauerhafte Erhaltung der Wälder und ihrer vielfältigen Funktionen gewährleisten zu können, bedarf es dringend einer besseren internationalen Abstimmung und engen Zusammenarbeit. Dazu ist umgehend die Ausarbeitung einer völkerrechtlich verbindlichen Internationalen Konvention zum Schutz der Wälder erforderlich. Diese muß sich auf alle Waldzonen beziehen und auf den im Rahmen der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung (UNCED) verabschiedeten Abkommen und Erklärungen basieren.

7.7.1 Rechtliche Grundlagen und Möglichkeiten

Das von einigen Ländern gesteckte Ziel, bereits im Rahmen der UNCED eine Internationale Waldkonvention zu verabschieden, konnte nicht erreicht werden. Dennoch spielte der Themenbereich Wälder bei der Konferenz eine Rolle. Die beiden verabschiedeten Konventionen (Klimarahmenkonvention und Konvention zur Erhaltung der biologischen Vielfalt) streifen wichtige Bereiche der Walderhaltung. Darüber

hinaus wurden Zielvorstellungen und Handlungsfelder in der „Nicht rechtsverbindlichen, maßgeblichen Darlegung von Grundsätzen eines weltweiten Konsenses über Bewirtschaftung, Erhaltung und nachhaltige Entwicklung aller Wälder“ (Walderklärung) sowie im Kapitel 11 der Agenda 21 vereinbart. Die beiden letztgenannten Dokumente sind jedoch völkerrechtlich nicht verbindlich. Die im einzelnen erzielten Ergebnisse sowie die Möglichkeiten auf der Basis der UNCED-Beschlüsse weitergehende Vereinbarungen im Waldbereich zu erreichen sollen im folgenden erläutert werden.

Klimarahmenkonvention

Die Klimarahmenkonvention hebt insbesondere die Funktion der Wälder als Kohlenstoffspeicher hervor. Die Vertragsstaaten haben sich in der Konvention verpflichtet, Maßnahmen zum Schutz und zur Erweiterung der Speicherfunktion zu ergreifen und darüber im Rahmen ihrer — der Vertragsstaatenkonferenz vorzulegenden — nationalen Berichte Auskunft zu geben.

Es wäre demnach möglich, bei der Fortentwicklung der in der Konvention eingegangenen Verpflichtungen auch Maßnahmen zum Schutz und zur nachhaltigen Bewirtschaftung der Wälder — etwa in einem CO₂- oder Wald-Protokoll — festzuschreiben. Da der institutionelle und vertragliche Rahmen eines solchen Protokolls bereits existiert, könnte eine derartige Vereinbarung relativ schnell angegangen werden. Es ist allerdings einzuwenden, daß im Rahmen der Klimarahmenkonvention zunächst vor allem die Industriestaaten — als Hauptverursacher der Klimaänderung — Maßnahmen ergreifen müssen. Schutzmaßnahmen in den Entwicklungs- und Schwellenländern würden voraussichtlich erst mit erheblicher Verzögerung durchsetzbar sein. Im übrigen muß die internationale Klimapolitik vorrangig die Verminderung der klimawirksamen Spurengasemissionen zum Ziel haben. Durch ein am Waldschutz orientiertes CO₂-Protokoll oder ein Wald-Protokoll würde das Schwerkraft des Klimaschutzes zu sehr auf den Erhalt der biosphärischen Kohlenstoffsene gelegt.

Die Konzentration auf die Funktion der Wälder als Kohlenstoffspeicher reicht darüber hinaus nicht aus, um ihren umfassenden Schutz zu gewährleisten. Waldschutz muß vielmehr alle Funktionen der Wälder umfassen und ihre dauerhafte Erhaltung zum Ziel haben (z. B. die biologische Vielfalt oder die Schutz- und Nutzfunktionen). Vor diesem Hintergrund stellen die Vereinbarungen der Klimarahmenkonvention keine ausreichende Basis für die Fortentwicklung einer umfassenden international verbindlichen Waldschutzstrategie dar.

Konvention zur Erhaltung der biologischen Vielfalt

Ein Schwerpunkt der Konvention zur Erhaltung der biologischen Vielfalt ist der Schutz natürlicher Lebensräume. Hierunter fallen auch die Wälder. Es

sind dazu eine Reihe von Maßnahmen festgeschrieben worden, so zum Beispiel

- die Ausweisung ausreichend großer Schutzgebiete,
- die Förderung einer umweltverträglichen und nachhaltigen Entwicklung in den die Schutzgebiete umgebenden Flächen,
- die Wiederherstellung von beeinträchtigten und zerstörten Lebensräumen sowie
- der Schutz und die Anwendung von traditionellen Schutz- und Bewirtschaftungsformen.

Bezogen auf die Wälder ließen sich auf dieser Basis konkrete Maßnahmen zur Entwicklung und Umsetzung geeigneter Schutz- und nachhaltiger Nutzungsformen ableiten. Diese sind in der Konvention jedoch nicht verpflichtend formuliert worden und werden daher nur geringe Wirkung zeigen. Der eigentliche Kernpunkt der Konvention zum Schutz der biologischen Vielfalt ist ohnehin die Regelung des Zugangs zu genetischen Ressourcen sowie die Aufteilung des dadurch entstehenden Nutzens. Sie erscheint daher als völkerrechtlich verbindlicher Rahmen für eine internationale Strategie zum Schutz der Wälder nicht geeignet.

Die Walderklärung

Die Walderklärung legt in nicht rechtsverbindlicher Form allgemeine Grundsätze zur Bewirtschaftung, zum Schutz und zur nachhaltigen Entwicklung der Wälder aller Klimazonen fest. Dabei wurde erstmals die Bedeutung der Wälder als Grundlage für eine nachhaltige Entwicklung der Länder einvernehmlich anerkannt. Im Vordergrund steht das souveräne Recht der Staaten zur Nutzung ihrer Waldressourcen.

Die formulierten Grundsätze gehen weit über den Bereich der Waldnutzung hinaus und umfassen auch die Veränderung der wirtschaftlichen und sozialen Rahmenbedingungen (z. B. Veränderung der Produktions- und Verbrauchsgewohnheiten, Armutsbekämpfung, Beseitigung waldschädigender Bestimmungen in der Steuer-, Handels-, Industrie- und Verkehrspolitik).

Als nicht rechtsverbindliches Dokument kann die Walderklärung jedoch nur als ein erster, bescheidener Schritt in Richtung einer verpflichtenden Waldkonvention betrachtet werden und bedarf dringend der Fortentwicklung. Der Weg dazu wurde in der Präambel der Erklärung, die eine Überprüfung und Verbesserung der Wirksamkeit festschreibt, offengehalten.

Agenda 21

Das umfangreiche Aktionsprogramm Agenda 21 enthält in Kapitel 11 einen breit angelegten Katalog von Handlungsfeldern gegen die fortschreitende Entwaldung und die Schädigung der Wälder. Dieser umfaßt sowohl Maßnahmen zur Entwicklung und Umsetzung nachhaltiger Bewirtschaftungs- und Schutzkonzepte als auch zur effizienten und umweltverträglichen

Verwendung von Holz und Nichtholzprodukten aus Wäldern. Die Agenda 21 enthält darüber hinaus eine überschlägige und ungeprüfte Ermittlung des Finanzbedarfs. Demnach werden die Kosten für die Umsetzung der Maßnahmen im Waldbereich im Zeitraum 1993 bis 2000 auf jährlich 2,5 Mrd. US-\$, das heißt insgesamt 20 Mrd. US-\$, geschätzt. Ein Drittel davon — also knapp 7 Mrd. US-\$ — soll als Zuschüsse oder Kredite von den Industrieländern aufgebracht werden.

Die Agenda 21 ist kein völkerrechtliches Dokument. Ihr Stellenwert wurde jedoch durch die Einrichtung der Kommission für nachhaltige Entwicklung („Commission on sustainable Development“ — CSD), deren Aufgabe die Umsetzung und Fortentwicklung des umfangreichen Handlungskatalogs ist, wesentlich erhöht. Inzwischen hat die CSD ein Arbeitsprogramm verabschiedet, das für das Jahr 1995 eine Überprüfung und Fortentwicklung der bisherigen Vereinbarung im Waldbereich vorsieht.

Fazit

Die UNCED hat lediglich Ansätze für eine internationale Strategie zum Schutz der Wälder erbracht. In den völkerrechtlich verbindlichen Konventionen werden Maßnahmen zur Eindämmung der Entwaldung und zum Schutz der Wälder nur am Rande behandelt. Die Dokumente mit direktem Waldbezug (Agenda 21, Kapitel 11 und Walderklärung) sind nicht rechtsverbindlich und weisen erhebliche Mängel auf. So fehlt zum Beispiel eine Definition der nachhaltigen Waldbewirtschaftung. Zudem steht der nationale Nutzungsanspruch gegenüber lokalen, regionalen und globalen Schutzinteressen zu stark im Vordergrund. Nicht zuletzt sind auch die sehr vagen Aussagen über die gegenseitige finanzielle, technische und personelle Kooperation ein erheblicher Nachteil der Vereinbarungen. Sie werden daher nicht zu einer spürbaren Entlastung der Wälder beitragen können. In ihnen ist jedoch die Überprüfung und Fortentwicklung der Vereinbarungen festgeschrieben. Auf dieser Basis kann eine verbindliche Waldkonvention ausgearbeitet werden (Müller-Kraenner 1994). Als Verhandlungsgremium bietet sich zunächst die UN-Kommission für nachhaltige Entwicklung (CSD) an.

7.7.2 Empfehlungen der Enquete-Kommission zur Ausarbeitung und Verabschiedung einer Internationalen Konvention zum Schutz der Wälder

Die Enquete-Kommission fordert die Bundesregierung auf, sich auf der EU- und der internationalen Ebene mit Nachdruck für das Zustandekommen einer völkerrechtlich verbindlichen Internationalen Konvention zum Schutz der Wälder einzusetzen. Diese soll im Rahmen der Beratungen der CSD zum Themenbereich Wälder im Jahr 1995 ausgearbeitet werden. Angesichts der Wahl von Bundesumweltminister Töpfer zum Vorsitzenden der UN-Kommission ergeben sich hier erhebliche Einflußmöglichkeiten, die von der Bundesregierung zu nutzen sind.

7.7.2.1 Struktur der Konvention

Im Bereich internationaler Abkommen im Umwelt- und Entwicklungsbereich wurde in den letzten Jahren in wichtigen Bereichen ein zweistufiges Verfahren angewandt. In einem ersten Schritt erarbeitet man eine Rahmenkonvention ohne länderspezifische Verpflichtungen und in einem zweiten Schritt werden dann von den Vertragsstaaten konkrete Verpflichtungen übernommen und in Protokollen verbindlich festgeschrieben. Ein solcher Aufbau ist grundsätzlich auch für eine Internationale Waldkonvention denkbar. Es ist jedoch zu bedenken, daß in vielen Regionen die Waldvernichtung sehr bald zu einer dramatischen Verringerung der Bestände führen wird. Außerdem dauert es, aufgrund der langen Entwicklungszeit der Wälder, oftmals Jahrzehnte, bis durchgeführte Maßnahmen im Waldbereich wirksam werden. Vor diesem Hintergrund ist die zügige Verabschiedung konkreter Verpflichtungen dringend erforderlich. Sie könnte durch das zweistufige Verfahren verzögert werden.

Die Enquete-Kommission schlägt daher den Einstieg in die Verhandlungen über eine Waldkonvention mit hohen Anforderungen an die Vertragsstaaten vor. Dies ist realistisch, da unverbindliche Grundlagen bereits in Form der Walderklärung und der Agenda 21 vorliegen und sich zudem seit der Rio-Konferenz das Interesse an einer Waldkonvention in einigen wichtigen Waldländern wesentlich vergrößert hat.

7.7.2.2 Inhaltliche Eckpunkte

Eine Internationale Waldkonvention muß umfassend sein. Das heißt, sie muß den dauerhaften Erhalt aller Waldfunktionen zum Ziel haben und Maßnahmen in den Bereichen Schutz und Bewirtschaftung der Wälder, Holzverwendung sowie Veränderung der waldschädigenden Rahmenbedingungen enthalten. Von entscheidender Bedeutung sind zudem verbindliche Festlegungen im Bereich der finanziellen, technischen und fachlichen Zusammenarbeit. Darüber hinaus muß die Konvention die Bedürfnisse und Nutzungsrechte der waldabhängigen lokalen Bevölkerung berücksichtigen und deren frühzeitige und mitentscheidende Beteiligung bei der Waldnutzungsplanung regeln.

Aus dieser Aufgabenstellung heraus ergibt sich ein breites Spektrum an allgemeinen Grundsätzen sowie konkreten Verpflichtungen der Vertragsstaaten, die im folgenden dargestellt werden sollen.

Allgemeine Grundsätze und Ziele

Die in der Agenda 21 und der Walderklärung vereinbarten allgemeinen Ziele müssen in einer Internationalen Waldkonvention aufgegriffen und weiterentwickelt werden. Dabei ist die Anerkennung und die Verpflichtung zum Schutz der vielfältigen Funktionen und Leistungen der Wälder auf lokaler, regionaler und globaler Ebene als verbindliche Grundlage für alle Vertragsstaaten der Konvention zu vereinbaren. Auf

dieser Basis sind folgenden allgemeinverbindliche Verpflichtungen für die Vertragsstaaten festzulegen:

- Schutz von Primärwäldern und anderen ökologisch besonders wertvollen Gebieten durch Ausweisung von Biosphären-Reservaten und Schutz-zonen sowie Anwendung besonders schonender Nutzungsformen.
- Sicherung der Lebensräume und Rechte der in den und von den Wäldern lebenden Bevölkerung, insbesondere der indigenen Gesellschaften.
- Einführung und Fortentwicklung nachhaltiger Bewirtschaftungsmethoden auf der Basis der Definition der Ministerkonferenz zum Schutz der Wälder in Europa (Kap. 7.2). Die Nachhaltigkeit ist dabei nicht nur bestandesweise, sondern anhand der jeweiligen nationalen waldwirtschaftlichen Verhältnisse zu beurteilen (z. B. Verhältnis geschützter zu bewirtschafteter Fläche, Gesamtwaldfläche, Vernichtungsraten, Aufforstungsraten).
- Durchführung von Maßnahmen zur Wiederaufforstung und Neuaufforstung mit den Zielen, die ökologischen und ökonomischen Lebensbedingungen der lokalen Bevölkerung zu verbessern, die Waldfläche zumindest zu erhalten und die Einbindung atmosphärischen Kohlendioxids in der Biosphäre zu erhöhen.
- Beseitigung waldgefährdender Rahmenbedingungen durch eine Wirtschafts-, Verkehrs- und Entwicklungspolitik, die Schadstoffeinträge minimiert und Raubbau verhindert und so dem Waldschutz Rechnung trägt.
- Maßnahmen zur effizienten und umweltgerechten Holzverwendung und zum sparsamen Umgang vor allem mit kurzlebigen Holzprodukten. Dabei ist die Verarbeitung des Holzes in den Ursprungsländern zu fördern; Zollschränken und Handelshemmnisse für höherwertige und nachhaltig erzeugte Forstprodukte sollen beseitigt werden.
- Im Zuge der engen internationalen Zusammenarbeit muß der Zugang der Entwicklungsländer und der Länder im wirtschaftlichem Übergang zu zusätzlichen Finanzmitteln, ökologisch tragfähigen Technologien und entsprechenden Fachkenntnissen gewährleistet werden.
- Von allen Vertragsstaaten sind möglichst umgehend nationale Berichte über die Situation der Wälder und der Waldbewirtschaftung sowie über durchgeführte bzw. geplante Maßnahmen zur Umsetzung der in der Waldkonvention verankerten Ziele und Verpflichtungen zu erstellen. Diese Berichte sind der Vertragsstaatenkonferenz (bzw. dem Exekutiv-Komitee) vorzulegen und nach jeweils acht Jahren zu überarbeiten. Die methodische und inhaltliche Ausgestaltung der nationalen Berichte sowie Möglichkeiten der internationalen Kooperation bei ihrer Erstellung müssen in der Waldkonvention klar geregelt werden, um eine rasche Erarbeitung und die Vergleichbarkeit der Berichte zu gewährleisten.

Konkrete Verpflichtungen

Die oben aufgeführten allgemeinen Grundsätze und Ziele sind im Rahmen konkreter Verpflichtungen der Vertragsstaaten fortzuentwickeln. Um möglichst vielen Ländern den Beitritt zur Konvention und damit die Übernahme von Verpflichtungen zu ermöglichen, ist ein System von Anreizen zu schaffen. Dazu sind verpflichtende Bestimmungen über die finanzielle Unterstützung bei Projekten zum Schutz des Waldes erforderlich. Außerdem sind nachprüfbar und an den jeweiligen ökologischen, ökonomischen und sozialen Bedingungen angepaßte Kriterien und Indikatoren für die nachhaltige Waldbewirtschaftung festzuschreiben. Als dritter Punkt sind Festlegungen über zu erstellende nationale Waldschutzberichte zu treffen. Einzelheiten sollen im folgenden vorgeschlagen werden.

Finanzierung

Die Sicherung der Finanzierung von in einer Waldkonvention festgeschriebenen Maßnahmen ist über die Globale Umweltfazilität (GEF) zu gewährleisten. Dazu ist innerhalb der GEF, über die bisherigen Sektoren Artenschutz und Klimaschutz hinaus, ein Wald-Sektor einzurichten, in den jene Vertragsstaaten einzahlen, deren Bruttoinlandsprodukt je Einwohner und Jahr über 10 000 US-Dollar liegt. Dazu ist eine feste Zahlungsverpflichtung in Höhe eines festzulegenden Promille-Satzes des nationalen Bruttosozialproduktes zu vereinbaren, der — entsprechend dem Verursacherprinzip — je nach pro-Kopf-Verbrauch (inklusive Importe) bzw. Exportmenge von Holz und Holzprodukten (in Rohholzüquivalenten) einen Zu- oder Abschlag erhält.

Leistungen der Geberländer im Rahmen der bilateralen Zusammenarbeit im Waldbereich sind, sofern sie den Zielsetzungen der Waldkonvention entsprechen, höchstens zu einem Drittel auf die Einzahlungen in den Wald-Sektor anzurechnen.

Die absolute Höhe der nationalen Einzahlungen ist abhängig vom erforderlichen Gesamtvolumen des Waldfonds. Dieses sollte sich zunächst nach dem in der Agenda 21 ermittelten Finanzierungsbedarf richten und entsprechend rund 7 Mrd. US-\$ für den Zeitraum bis zum Jahr 2000 betragen. Die künftige Ausstattung des Wald-Sektors ist nach dieser ersten Phase durch die Vertragsstaatenkonferenz zu prüfen.

Die Finanzmittel aus dem Wald-Sektor sollten allen Teilnehmerstaaten zur Verfügung stehen, deren Bruttoinlandsprodukt pro Einwohner und Jahr 4 000 US-\$ nicht überschreitet. Dabei sind auch Maßnahmen zur Bekämpfung der Desertifikation zu berücksichtigen. Der soeben fertiggestellte Entwurf einer Wüstenkonvention (UN-Desertification Convention) sollte im Zusammenhang mit einer Internationalen Waldkonvention verhandelt werden. Denn die Erhaltung einer möglichst geschlossenen Vegetation, das heißt auch und vor allem der Schutz der Wälder, stellt den besten Schutz gegen Wüstenausbreitung dar. Deshalb liegt es auf der Hand, daß eine Wüstenkonvention nicht

isoliert gesehen werden kann, sondern im Zusammenhang mit der Waldkonvention behandelt werden muß. Dies umfaßt auch Fragen der Finanzierung.

Die Vergabe der Mittel soll nach drei Gesichtspunkten erfolgen:

- Grundsätzlich können nur Teilnehmerstaaten, die sich zu einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung durch Vorlage eines Waldschutzplanes und entsprechende Erklärungen verpflichtet haben, Finanzmittel erhalten.
- Voraussetzung für die Mittelvergabe an die Teilnehmerstaaten ist die Vorlage eines Projektes, das den in der Konvention vereinbarten Zielsetzungen entspricht.
- Neben der Umweltverträglichkeit muß auch die Sozialverträglichkeit eines Projektes sichergestellt sein, das heißt die Einbindung der einheimischen Bevölkerung, für die der Wald die Existenzgrundlage ist.

Dadurch würden finanzielle Anreize zur Aufstellung von nationalen Waldschutzplänen geschaffen. Diese Vorgehensweise wird der nationalen Souveränität der Staaten gerecht und dürfte daher auf wesentlich breitere Akzeptanz stoßen als eine Verpflichtung aller Vertragsstaaten zur Aufstellung von Waldschutzplänen. Ein bevorzugtes Finanzierungsverfahren für Länder mit einem anerkannten Waldschutzplan kann durch folgende Merkmale gekennzeichnet sein:

- Alle Projekte, die im Waldschutzplan enthalten sind, werden prinzipiell als förderungswürdig eingestuft.
- Für Länder mit bevorzugtem Finanzierungsverfahren wird auch die Ablösung internationaler Schuldentitel durchgeführt. Dabei können Schuldentitel kostenlos vom Wald-Sektor abgelöst werden, wenn sich das betreffende Land dazu verpflichtet, einen bestimmten Prozentsatz des Schuldenbetrages als Eigenmittel bei der Finanzierung von Waldschutzprojekten im Rahmen des Waldschutzplans einzusetzen.
- Wenn die Mittel des Wald-Sektors nicht ausreichen, um die vorgelegten und positiv begutachteten Projekte zu finanzieren, sollen Länder mit einem Waldschutzplan bevorzugt werden.
- Es sollen über den Wald-Sektor hinaus Finanzquellen für Länder mit einem Waldschutzplan eröffnet werden. Dies könnte zum Beispiel durch die Übernahme von Ausfallbürgschaften für Direktinvestitionen in Entwicklungsländern erreicht werden. Auch könnten Leistungen der Geberländer im Rahmen der bilateralen Zusammenarbeit mit Staaten, die über einen Waldschutzplan verfügen, in stärkerem Maße auf den in den Wald-Sektor einzuzahlenden Betrag angerechnet werden (z. B. statt zu einem zu zwei Dritteln). Dadurch würde die bilaterale Zusammenarbeit mit diesen Staaten für die Geberländer besonders attraktiv.

Aufstellung von nationalen Waldschutzplänen

Waldschutzpläne müssen das zentrale Instrument zur Umsetzung der Waldkonvention auf nationaler Ebene sein. Ihre Aufstellung ist dabei von den Regierungen der Vertragsstaaten zu veranlassen. Inhalt und Ausgestaltung der Waldschutzpläne müssen jedoch in der Waldkonvention klar geregelt sein. Sie müssen darüber Aufschluß geben, wie die Grundsätze einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Wälder im betreffenden Land umgesetzt werden. Dabei sind insbesondere die Flächenanteile festzulegen, die einerseits für die Einrichtung von Waldreservaten vorgesehen sind, andererseits bei der Nutzung von Primärwäldern eine Rolle spielen. Insgesamt ist eine den Vereinbarungen der Konvention entsprechende waldbezogene Landnutzungsplanung aufzustellen, die auch Zielvorgaben für die Eindämmung der Entwaldung enthalten muß. Darüber hinaus müssen Waldschutzpläne auch Maßnahmen außerhalb des Forstsektors enthalten, die zu einer Verbesserung der Waldentwicklung und zur Absicherung der Nachhaltigkeit erforderlich sind (z. B. Verminderung des Nutzungsdrucks auf Primärwälder, Reduzierung des Schadstoffeintrags). Obgleich mit der Erstellung von Waldschutzplänen ausschließlich für die Empfängerländer durch Mittelvergabe aus dem einzurichtenden GEF-Wald-Sektor Vorteile verbunden sind, sollten auch die Geberländer sich ihrerseits verpflichten, Waldschutzpläne zu erstellen.

Im einzelnen sollen Waldschutzpläne Maßnahmen nach folgenden Kategorien umfassen, wobei der jeweilige Finanzbedarf zu ermitteln ist:

- Maßnahmen zugunsten von Waldreservaten,
- Maßnahmen zur Erhaltung und ökologisch angepaßten Nutzung von Primärwäldern,
- sonstige Maßnahmen zur umweltschonenden Waldnutzung und Verbesserung der forstwirtschaftlichen Methoden,
- nichtforstliche Maßnahmen zur Verminderung des Landnutzungsdruckes auf den Wald einschließlich der Verbesserung der Energieversorgung,
- Aufforstungsmaßnahmen, auch außerhalb der bisherigen Waldflächen.

Des weiteren sollen die Waldschutzpläne Aussagen über die für den Waldschutz und die Waldpflege notwendigen rechtlichen, politischen und infrastrukturellen Rahmenbedingungen enthalten und den gegenwärtigen Stand skizzieren.

Die Waldschutzpläne sind unter frühzeitiger und umfassender Beteiligung der lokalen Bevölkerung und der Nichtregierungsorganisationen zu erstellen und müssen deren eigenständige und mitverantwortliche Position auch bei der Umsetzung der einzelnen Projekte sicherstellen.

In den Tropenwaldländern können Tropenforstaktionspläne nur dann die Grundlage zur Erstellung von Waldschutzplänen darstellen, wenn sie in Tropenwaldschutzpläne umgewandelt worden sind (vgl. Kap. 7.5.1.1). In den außertropischen Ländern sind Waldschutzpläne neu zu erstellen. Es ist anzustreben,

die Waldschutzpläne alle acht Jahre zu überarbeiten und parallel zu den im Rahmen der Konvention zu erarbeitenden nationalen Waldschutzberichten vorzulegen.

Einrichtung eines Exekutiv-Komitees

Parallel zur Struktur der Organe in der Klimarahmenkonvention und der Konvention zum Schutz der biologischen Vielfalt könnte auch im Rahmen der Waldkonvention ein Exekutiv-Komitee eingesetzt werden. Dieses soll für alle mit der Finanzierung, der Genehmigung von Waldschutzplänen und der erforderlichen Kontrolle zusammenhängenden Maßnahmen zuständig sein. Es soll paritätisch mit Vertretern der Geber- und Empfängerländer sowie mit unabhängigen Fachexperten besetzt werden. Das Exekutiv-Komitee setzt für Ländergruppen oder Regionen Regionale Waldkomitees ein, deren Mitglieder nach den gleichen Grundsätzen und im Einvernehmen mit den betroffenen Ländern bestellt werden. Aufgabe der Regionalen Waldkomitees soll die Unterstützung und Begutachtung von Waldschutz- und Waldverbesserungsmaßnahmen sowie der Waldschutzpläne sein. Dabei ist neben der Umwelt- und Waldverträglichkeit vor allem die Akzeptanz der Maßnahmen in der lokalen Bevölkerung sowie deren Einbeziehung in die Planung und Umsetzung der einzelnen Projekte zu betrachten.

Festlegung nachprüfbarer Kriterien und Indikatoren für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung

Eine Waldkonvention muß den Begriff der Nachhaltigen Waldbewirtschaftung auf der Basis der Resolutionen der Ministerkonferenz zum Schutz der Wälder in Europa klar definieren und darüber hinaus praxisorientierte und nachprüfbare Kriterien und Indikatoren für die nachhaltige Waldbewirtschaftung festschreiben. Dies gilt zum Beispiel für

- die Anwendung möglichst schonender Nutzungsmethoden in allen Klimazonen,
- eine ökologisch verträgliche Nutzungsintensität,
- die Aufrechterhaltung der Nährstoffkreisläufe sowie die Sicherung der Naturverjüngung und
- die Erhaltung der Artenvielfalt und des spezifischen Charakters der jeweiligen Waldökosysteme.

Es ist darüber hinaus jedoch dringend erforderlich, Kriterien zur Bewertung der nachhaltigen Waldbewirtschaftung für die nationale Ebene festzulegen. Hierunter sind zum Beispiel zu verstehen:

- das Ausmaß von Waldreservaten sowie Ausmaß und Zustand von Wäldern, die eine besonders pflegliche, bodenschonende und artenerhaltende Bewirtschaftung erfahren (naturnahe Wälder),
- das Ausmaß von Waldverlusten,

- die Berücksichtigung und Einbeziehung anderer Nutzungsinteressen, insbesondere der lokalen Bevölkerung, in die Waldnutzungsplanung.

Diese Kriterien sind mit Mindestforderungen in Verbindung zu bringen, um nachhaltige Waldbewirtschaftung konkret abgrenzen zu können. Es sollte zum Beispiel angestrebt werden, einen erheblichen Teil der Primärwälder in einem Land als Waldreservat auszuweisen. In Ländern mit nur noch geringen Primärwaldgebieten und hohen Primärwaldvernichtungsraten sollte sich die Reservatsfläche deutlich — bis hin zum vollständigen Schutz der Primärwaldreste — erhöhen. In Ländern ohne Primärwälder sind mindestens 10 % der Waldfläche als Reservat auszuweisen. Ferner ist als Zielvorstellung anzustreben, daß Waldreservate und naturnahe Wälder zusammen den überwiegenden Teil der Waldfläche ausmachen.

Förderung des Absatzes für Holz und Holzprodukte aus nachhaltiger Erzeugung

Wie in anderen Wirtschaftsbereichen spiegeln sich auch im Forst- und Holzsektor die externen Kosten nicht im Preisniveau wider. So gewinnen nicht-nachhaltig erzeugte Hölzer Marktvorteile gegenüber den nachhaltig gewonnenen und deshalb teureren Produkten. Dieser Sachverhalt ist mit dafür verantwortlich, daß einerseits immer größere Waldflächen auf nicht-nachhaltige Weise eingeschlagen werden und daß nachhaltig wirtschaftende Betriebe häufig keine ausreichende Kostendeckung erreichen. Um dieser Situation entgegenzuwirken, müssen in einer Waldkonvention Maßnahmen zur Stützung und Förderung des Absatzes nachhaltig erzeugter Holzprodukte entwickelt und festgeschrieben werden. Im einzelnen sind die folgenden Vereinbarungen erforderlich:

- Kennzeichnung nachhaltig erzeugter Hölzer und Holzprodukte; dabei sind die oben genannten Kriterien als Beurteilungsgrundlage heranzuziehen.
- Verteuerung nicht-nachhaltig erzeugter Hölzer und Holzprodukte durch Einführung einer Importabgabe in Höhe von 20 % des Marktwertes. Das daraus resultierende Finanzaufkommen soll als zusätzliche Einzahlung in den Internationalen Wald-Sektor der GEF dem Aufbau einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung vor allem in den Tropenländern zugute kommen.

Über diese international zu vereinbarenden Regelungen hinaus sollen die Vertragsstaaten sich verpflichten, auf nationaler Ebene Maßnahmen zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit nachhaltig erzeugter Holzprodukte durchzuführen.

Die Festschreibung ökologischen Produktionsstandards in der Wald- und Holzwirtschaft kann wichtige Impulse für die Weiterentwicklung der Vereinbarungen im Rahmen des GATT/WTO geben.

Aufforstungsmaßnahmen

Die Waldkonvention muß eine erhebliche Ausweitung der weltweiten Aufforstungsbemühungen⁴⁾ verbindlich festschreiben. Diese müssen mit den Zielen durchgeführt werden, die natürlichen Lebensbedingungen der lokalen Bevölkerung und ihre Versorgungs- (z. B. Brennholz, Nahrungsmittel) und Einkommensmöglichkeiten zu verbessern sowie die Einbindung von atmosphärischem CO₂ in den Wäldern zu erhöhen. Die Vertragsstaaten sollten sich zur Anlage von Aufforstungen in einem Umfang verpflichten, der anhand der folgenden Indikatoren festzulegen ist:

- Nationale CO₂-Emission
- Anteil der Waldfläche an der jeweiligen Landesfläche, wobei natürlicherweise unbewaldete Gebiete (Wüsten, Steppen, Tundren, Hochgebirge, Wasserflächen etc.) abzuziehen sind.
- Waldflächenentwicklung in den zurückliegenden 20 Jahren

Zwar kann die grundsätzliche Verpflichtung zur Durchführung von Aufforstungen auch im Rahmen der Umsetzung der Klimarahmenkonvention in einem CO₂-Protokoll vereinbart werden. Die Umsetzung dieser Verpflichtung sollte jedoch, da sie unmittelbar mit den Fragen der Waldnutzung und des Waldschutzes in Zusammenhang steht, in einer Waldkonvention festgelegt werden. Damit wäre gleichzeitig gewährleistet, daß eine internationale Aufforstungsstrategie nicht zu einseitig auf die Kohlenstoffeinbindung in Wäldern ausgerichtet wird, sondern den vielfältigen Funktionen und Leistungen der Wälder Rechnung trägt.

Wie in Kap. 7.5.2.6 näher erläutert, sind allein für die Aufforstungen in Tropenländern jährlich 2 Mrd. US-\$ aufzubringen. Diese Finanzmittel sollen Bestandteil des einzurichtenden GEF-Wald-Sektors sein und in Zusammenarbeit mit dem Exekutiv-Komitee der Waldkonvention verwaltet werden. Über die bereitzustellenden Finanzmittel hinaus sind in einer Waldkonvention weitere grundsätzliche Fragen einer internationalen Aufforstungsstrategie zu klären. So ist vor allem festzulegen, ob und in welcher Form Vertragsstaaten Teile ihre Aufforstungsverpflichtung in anderen Ländern realisieren können und in wieweit Zuschüsse und Kredite der Geberländer zu Aufforstungsmaßnahmen im Rahmen der bilateralen Zusammenarbeit auf die Einzahlungen in den GEF-Wald-Sektor angerechnet werden. Darüber hinaus ist sicherzustellen, daß alle Aufforstungsmaßnahmen in umweltverträglicher Form, mit standortgerechten Baumarten und unter Einbeziehung der lokalen Bevölkerung und der Nichtregierungsorganisationen durchgeführt werden.

⁴⁾ Unter Aufforstung wird im folgenden insbesondere die Neuaufforstung lange Zeit unbestockter ehemaliger Waldflächen verstanden. Die Wiederaufforstung der eingeschlagenen Waldflächen ist dagegen über die Sicherung nachhaltiger Bewirtschaftungsmethoden zu gewährleisten.

7.7.2.3 Zeitplan für die Verabschiedung einer Internationalen Waldkonvention

Auf der Basis der von der UNCED verabschiedeten Dokumente muß die Ausarbeitung einer Internationalen Waldkonvention umgehend erfolgen. Die Enquete-Kommission erwartet daher von der Bundesregierung eine entsprechende Initiative auf europäischer und globaler Ebene. Sie soll im Rahmen des Follow-Up-Prozesses von Rio unmittelbar in vorbereitende bilaterale Gespräche mit den Staaten der Europäischen Union sowie anderen wichtigen Waldländern treten und auf dieser Basis einen Entwurf für einen Vertragstext erarbeiten. Dieser ist möglichst bereits in die Beratungen der CSD, die unter dem Vorsitz von Bundesumweltminister Töpfer im kommenden Jahr über eine Fortentwicklung der bisherigen Vereinbarungen im Waldbereich berät, einzubringen. Minimalziel der Beratungen muß, — sofern die Konvention nicht im Rahmen der CSD-Beratung verabschiedet werden kann — die Einsetzung eines Verhandlungsgremiums zur Ausarbeitung der Waldkonvention sein, dem neben Regierungsvertretern auch Vertreter von Nichtregierungsorganisationen angehören. Dazu sind von der CSD inhaltliche und zeitliche Vorgaben zu machen, die eine Verabschiedung der Konvention spätestens im Jahr 1996 sicherstellen.

7.8 Forschungsempfehlungen

Die Enquete-Kommission sieht in den folgenden Bereichen offene Fragen, die durch nationale und internationale Forschungsanstrengungen zu klären sind.

- Aktueller Waldbestand und globale Waldflächenentwicklung in den verschiedenen Klimazonen
- Waldökologie und Stoffhaushalt der Wälder sowie Auswirkungen künftiger Klimaänderungen
- Waldwirtschaftliche Möglichkeiten zur Eindämmung des anthropogenen Treibhauseffektes
- Ökonomische Bewertung der vielfältigen Leistungen der Wälder
- Effiziente und sparsame Holzverwendung.

7.8.1 Aktueller Waldbestand und globale Waldflächenentwicklung in den verschiedenen Klimazonen

Über die globale Waldfläche sowie die regionale Verteilung der verschiedenen Waldtypen bestehen bislang erhebliche Unsicherheiten. Fehlende oder lückenhafte Satellitendaten sowie unterschiedliche Wald-Definitionen und zum Teil gravierende Unsicherheiten in den nationalen Waldstatistiken erschweren bislang eine systematische Aufnahme der Waldbestände sowie die Ermittlung der Waldflächenentwicklung. Vor diesem Hintergrund sind Forschungsvorhaben in folgenden Bereichen durchzuführen:

- Verbesserung der Methoden der Waldinventur mit Hilfe von Satellitenaufnahmen sowie methodische Angleichung der nationalen Waldflächenerhebungen;
- Entwicklung von Verfahren zur Vegetationskartierung und Erfassung von Landnutzungsänderungen durch Satellitenaufnahmen;
- Entwicklung von Methoden zur Überwachung von Aufforstungsbeständen und Naturverjüngungsflächen.

7.8.2 Waldökologie und Stoffhaushalt der Wälder sowie Auswirkungen künftiger Klimaänderungen

Trotz erheblicher Fortschritte im Bereich der Wald-ökosystemforschung bestehen noch weitreichende Unsicherheiten über die in Wäldern ablaufenden ökologischen Prozesse. Eine Erweiterung des diesbezüglichen Wissensstandes ist dringend erforderlich, um die komplexen Zusammenhänge zwischen den Wäldern und dem Klima analysieren und Modelle zur Prognose der Waldökosystem-Entwicklung entwickeln zu können. Darüber hinaus liefert die Waldökosystemforschung die ökologischen Grundlagen zur Fortentwicklung nachhaltiger Nutzungs- und wirksamer Schutzkonzepte.

In diesem Bereich sieht die Enquete-Kommission die folgenden Forschungsaufgaben als vorrangig an:

- Erhebung von Basisdaten über den Biomassezuwachs und Untersuchungen der Stoffkreisläufe (insbesondere Kohlenstoff und Stickstoff) in Waldökosystemen in allen Klimazonen, wobei vor allem deren Senken- und Quellfunktion für klimarelevante Spurengase (insbesondere Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen) sowie deren Stickstoffrückhaltekapazität (insbesondere Nitrat) zu berücksichtigen sind.
- Entwicklung von Simulationsmodellen, die die zukünftige Entwicklung von Waldökosystemen für bestimmte Szenarien der Klimaveränderung, der Stoffeinträge, des Waldzustands und der Standortbedingungen prognostizieren.

Besonders wichtig ist dabei die Stärkung der Forschung zur Ökologie tropischer Wälder durch Zusammenarbeit deutscher Forschungsinstitute mit denen der tropischen Waldländer.

7.8.3 Waldwirtschaftliche Möglichkeiten zur Eindämmung des anthropogenen Treibhauseffektes

Die waldwirtschaftlichen Möglichkeiten zur Verminderung des CO₂-Anstiegs in der Atmosphäre sind bislang nur mit großen Unsicherheiten zu quantifizieren. Um zu einer realistischen Einschätzung des möglichen Beitrags der Waldwirtschaft im Rahmen einer sektorübergreifenden globalen Klimaschutzstrategie zu gelangen, sind die folgenden Forschungsaufgaben anzugehen.

- Verbesserung von nationalen Landnutzungsmodellen unter Einbeziehung des voraussichtlichen Bedarfs an landwirtschaftlichen Flächen und der potentiell nutzbaren Landflächen. Insbesondere muß der Einfluß der Randbedingungen (z. B. Bevölkerungswachstum, landwirtschaftliche Produktivität, Brennholzbedarf etc.) auf den Landnutzungswandel in den Modellen berücksichtigt werden, damit quantitative Aussagen über die Möglichkeiten und Grenzen forstwirtschaftlicher CO₂-Minderungsstrategien möglich werden.
- Ermittlung des heutigen und zukünftigen Potentials geeigneter Aufforstungsflächen unter Berücksichtigung der ökonomischen, sozialen und demographischen Entwicklung.
- Entwicklung von nachhaltigen Bewirtschaftungsmethoden, die die CO₂-Einbindung in den Wirtschaftswäldern erhöhen. Dabei ist sowohl der Kohlenstoff in der lebenden Biomasse als auch der Einfluß der Bewirtschaftung auf den bodengebunden Kohlenstoffpool zu betrachten.

7.8.4 Ökonomische Bewertung der vielfältigen Leistungen der Wälder

Eine Vielzahl unersetzlicher Funktionen der Wälder können bislang nicht monetär bewertet werden. Nichtholzprodukte sowie die unersetzlichen Schutzfunktionen der Wälder werden dadurch oftmals als nachrangig angesehen. Die Enquete-Kommission sieht es als erforderlich an, die Bestrebungen zur ökonomischen Bewertung der sozialen und ökologischen Leistungen der Wälder zu verstärken. Dadurch würde nicht nur dem Schutzgedanken Rechnung getragen, sondern gleichzeitig die Basis geschaffen, die vielfältigen ökologischen und sozialen Leistungen der nachhaltigen Waldwirtschaft angemessen zu vergüten.

7.8.5 Effiziente und sparsame Holzverwendung

Die Enquete-Kommission sieht in der Förderung einer sparsamen und effizienten Holzverwendung eine vordringliche Aufgabe. Ein Ziel muß dabei die Verminderung des Einsatzes von Holz zur Fertigung kurzlebiger Produkte sein. Dazu bedarf es insbesondere umweltschonender und effizienter Technologien im Bereich der Papier- und Zellstoffherstellung und der Wiederverwendung von Papier. Die Forschungsanstrengungen auf diesem Gebiet sollten entsprechend verstärkt werden.

Darüber hinaus ist die Verminderung des Brennholzbedarfs in vielen Tropenregionen dringend erforderlich. Dazu sind an die Bedürfnisse der Benutzung angepaßte Herde — möglichst auf Basis von Solarenergie — fortzuentwickeln. Parallel dazu müssen angepaßte Konzepte zur Erhöhung der Akzeptanz bei der betroffenen Bevölkerung entwickelt werden, um die Einführung der neuen Technologien großflächig zu ermöglichen.

5. Literaturverzeichnis Abschnitt C

- Ahamer, G. (1993): Influence of an enhanced use of biomass for energy on the CO₂ concentration in the atmosphere; Executive summary of a Doctoral Thesis at the Graz University of Technology in Austria, Graz
- Ahamer, G. u. a. (1992): Einfluß einer verstärkten energetischen Nutzung von Biomasse auf die CO₂-Konzentration der Atmosphäre; Report für Energieforschung, Joanneum Research, Bericht Nr. IEF-B-20/92, Graz
- Allen, L. H. Jr. (1990): Plant responses to rising carbon dioxide and potential interactions with air pollutants; *Journ. Environ. Qual.* 19, 15—34
- Amelung, T. und M. Diehl (1992): Deforestation of Tropical Rain Forests — Economic Causes and Impact on Development; *Kieler Studien* 241, Mohr (Paul Siebeck), Tübingen
- Andrasko, K. (1990): Climate Change and global forests: Current knowledge; *Unasylva*, 14 (163), 3—11
- Apps, M. u. a. (1993): Boreal Forests and Tundra; In: Wisniewski, J. und R. N. Sampson (Hg.): *Terrestrial Biospheric Carbon Fluxes: Quantification of Sinks and Sources of CO₂; Water, Air and Soil Pollution*, 70, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 39—54
- Atjay, G. L., Ketner, P. und P. Duvigneaud (1979): Terrestrial primary production and phytomass; In: Bolin, B. u. a. (Hg.): *The Global Carbon Cycle, SCOPE 13*, Chichester, Wiley, 129—182
- Backman, C. A. und T. R. Waggener (1991): Soviet timber Resources and Utilization: An Interpretation of the 1988 National Inventory; Working Paper 35, CINTRAFOR, Univ. Washington, USA
- Barnes, B. V. (1991): Deciduous forests of North America; In: Röhrig, E. und B. Ulrich (Hg.): *Temperate Deciduous Forests; Ecosystems of the World 7*, Elsevier, 219—344
- Barr, B. und K. Braden (1988): *The disappearing Russian forest*; Rowman und Littlefield, London
- Bazzaz, F. A. und E. D. Fajer (1992): Mehr Kohlendioxid — wie reagiert die Pflanzenwelt?, *Spektrum der Wissenschaft*, März 1992, 64—71
- Beese, F. (1986): Parameter des Stickstoffumsatzes in Ökosystemen mit Böden unterschiedlicher Azidität; *Göttinger Bodenkundl. Ber.* 90, 344 S.
- Bekkering, T. D. (1992): Using tropical Forests to fix atmospheric Carbon: The potential in theory and praxis; *Ambio* 21 (6), 414—419
- Bemmann, A. (1990): Entwicklungstendenzen der Holzindustrie in der UdSSR; *Allgemeine Forstzeitschrift* 43—44, 1122 bis 1124
- Bermann, J.-H. (1993): Phänomen Sandrohr — Ursachen der Ausbreitung des Sandrohrs (*Calamagrostis epigejos*) in den Wäldern der östlichen Bundesländer; *Der Wald Berlin* 43 (2), 48—49
- Berz, G. (1994): Die Zeichen stehen auf Sturm; *Naturwissenschaften* 81, 1—6
- BFH (Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft) (1993): Schriftliche Stellungnahme im Rahmen der Anhörung der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ zum Thema „Potentiale zur Kohlenstofffixierung durch Ausweitung der Waldflächen als Maßnahme zur Klimasanierung“ am 15. März 1993 in Bonn; EK-Drucksache 12/13-e
- Birdsey, R. A. (1992): Carbon storage and accumulation in United States forest ecosystems; Gen. Tech. Rep. WO-59, USDA, Forest Service, Washington D.C.
- Birdsey, R. A., Plantinga, A. J. und L. S. Heath (1993): Past and prospective carbon storage in United States forests; *Forest Ecology and Management*, In Press
- Blais, J. R. (1983): Trends in frequency, extent, and severity of spruce bedworm outbreaks in eastern Canada; *Can. J. For. Res.* 13 (4), 539—547
- BMAG (Big Mountain Aktionsgruppe) (1992): Lubicon Cree; Coyote — Informationen und Berichte zur Situation nordamerikanischer Indianer
- BMFT (Bundesministerium für Forschung und Technologie) (1993): 10 Jahre Waldschadensforschung, Bonn
- BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (1993 a): Waldzustandsbericht der Bundesregierung — Ergebnisse der Waldschadenserhebung 1993, Bonn
- BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (1993 b): Bundeswaldinventur 1986—1990, Bonn
- BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (1989): *Forestry Response Strategies — Problems of temperate Forests*; Bericht an das IPCC, Bonn
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (1991): VOC-Protokoll bringt Fortschritte beim Kampf gegen den Sommersmog und Treibhauseffekt, Pressemitteilung des BMU vom 19. November 1991, Bonn
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (1992): Fünfter Immissionsschutzbericht der Bundesregierung, Bonn
- BMV (Bundesministerium für Verkehr) (1992): Verkehr in Zahlen 1992, Bonn
- BMZ (Bundesministerium für wirtschaftlichen Zusammenarbeit und Entwicklung) (1994 a): *Journalisten-Handbuch Entwicklungspolitik*, Bonn
- BMZ (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung) (1994 b): *Informationsvermerk Global Environmental Facility (GEF)*, unveröffentlicht
- Bojcenko, A. M. und A. P. Isaev (1992): Fragen der Wiederherstellung tundranaher Wälder an der Nordgrenze ihres Verbreitungsareals in Jakutien; *Lesnoi Zhurnal* 35 (4), 33—37 (in russisch)
- Bolin, B. (1986): How much Carbon will remain in the Atmosphere?; In: Bolin, B. u. a. (Hg.): *The Greenhouse Effect, Climate Change and Ecosystems, SCOPE 29*, New York
- Bolle, H.-J. (1993): Das System Erde; *Geographische Rundschau* 45 (2), 81—87
- Bonan, G. B. u. a. (1992): Effects of boreal forest vegetation on global climate; *Nature* 359, 716—718
- Bouwman, A. F. (1990): Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere; In: Bouwman, A. F. (Hg.): *Soils and the Greenhouse Effect*; John Wiley & Sons, New York, 61—127

- Box, E. O. (1981): *Macroclimate and Plant Forms: An Introduction to Predictive Modelling in Phytogeography*, Dr. W. Junk, The Hague
- Broecker, W. S. und T. H. Peng (1992): Interhemispheric transport of Carbon Dioxide by Ocean Circulation; *Nature* 356, 587—589
- Brown, S. u. a. (1993): Tropical Forests: Their past, present and potential future role in the Terrestrial Carbon Budget; In: Wisniewski, J. und R. N. Sampson (Hg.): *Terrestrial Biospheric Carbon Fluxes: Quantification of Sinks and Sources of CO₂; Water, Air and Soil Pollution*, 70, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 71—94
- Brown, S., Lugo, A. E. und L.R.Iverson (1992): Processes and Lands for Sequestering Carbon in the Tropical Forest Landscape; In: Wisniewski, J. und A. E. Lugo (Hg.): *Natural Sinks of CO₂*; Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 139—155
- Brünig, E. F. (1987): The Forest Ecosystem: Tropical and Boreal; *Ambio* 16 (2—3), 68—79
- Brünig, E. F. (1989): Die borealen Nadelwälder; *Praxis Geographie* 19 (5), 6—11
- Burschel, P. (1993): Schriftliche Stellungnahme im Rahmen der Anhörung der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ zum Thema „Potentiale zur Kohlenstofffixierung durch Ausweitung der Waldflächen als Maßnahme zur Klimasanierung“ am 15. März 1993 in Bonn, EK-Drucksache 12/13-k
- Burschel, P. u. a. (1990): Erkenntnisse zur Walderneuerung in den Bayerischen Alpen; *Forstwiss. Forschungen* 40, 40—49, Paul Parey Verlag, Hamburg
- Burschel, P., E. Kürsten und B. C. Larson (1993): Die Rolle von Wald und Forstwirtschaft im Kohlenstoffhaushalt — Eine Betrachtung für die Bundesrepublik Deutschland; Schriftenreihe der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität München und der Bayerischen Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt 126
- Canakcioglu, H. (o. J.) Bericht der Forstfakultät, Universität Istanbul
- Cayford, J. H. (1990): A brief overview of Canadian forestry; *Unasylva* 41 (162), 44—48
- Cayford, J. H. (1993): Einführung in die Forstwirtschaft Kanadas; *Allgemeine Forstzeitschrift* 48 (4), 158—164
- CCFM (Canadian Council of Forest Ministers) (1993): *Compendium of Canadian Forestry Statistics 1992*; Ottawa
- Cejchan, S. (1993): Russische Föderation — Neue Strukturen des Forstmanagements; HZB (in Vorb.)
- Cejka, R. (1992): Vom Kahlschlag getroffen; *Öko-Test-Magazin* 7/92, 9—15
- Ching, K. K. (1991): Temperate Deciduous Forests in East Asia; In: Röhrig, E. und B. Ulrich (Hg.): *Temperate Deciduous Forests; Ecosystems of the World* 7, Elsevier, 539—556
- Davidenko, E. P. (1992): The 1991 Forest Fire Season in the Russian Federation; In: Goldammer, J. G. (Hg.): *International Forest Fire News*, No.6, EDE/FAO, Genf 6
- Davis, M. B. (1989): Lags in vegetation response to greenhouse warming; *Climatic Change* 15, 75—82
- Delcourt, P. A. und H. R. Delcourt (1981): Vegetation maps for eastern North America: 40,000 yr B.P. to present; In: Romans, R. (Hg.): *Proceedings 1980 Geobotany Conference*, Plenum, New York, 123—166
- Delcourt, P. A. und H. R. Delcourt (1987): Longterm forest dynamics in the temperate zone; Springer, New York
- Deutscher Bundestag (1992): Antwort der Bundesregierung auf die Große Anfrage der SPD-Fraktion zur Internationalen Verschuldungskrise und wirtschaftlichen Strukturanpassung in der Dritten Welt und in Osteuropa; Bundestags-Drucksache 12/3300, Bonn
- Deutscher Bundestag (1993): Bericht der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag über ihre laufenden Aktivitäten zur Tropenwalderhaltung und zum Stand der Umsetzung der genannten Schutzmaßnahmen auf internationaler, EG-weiter und nationaler Ebene und darüber hinaus über die Entwicklung auf dem Gebiet des Schutzes der tropischen Regenwälder insgesamt, sowie über die Realisierung der Forschungsempfehlungen der Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ zum Schutz der tropischen Wälder; Bundestags-Drucksache 12/5403, Bonn
- Diem, A. (1993): Kahlschlag in den Wäldern Britisch Kolumbiens; *Allgemeine Forstzeitschrift* 48 (4), 169—173
- DIW (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung) (1994): Umweltschutz in der Russischen Föderation; *DIW-Wochenbericht* 5/94, 70—77
- DJV (Deutscher Jagdschutz-Verband) (1992): *DJV Handbuch Jagd 1992*, Bonn
- Doucet, R. (1992): The role of layering in the reproduction of black spruce after logging; In: Engelmark, O. und R. Bradshaw (Hg.): *Disturbance dynamics in boreal forests*; Sect. For. Sci., Univ. Umea, Umea
- Downing, J. P. und D. A. Cataldo (1992): Natural Sinks of CO₂: Technical Synthesis from the Palmas Del Mar Workshop; In: Wisniewski, J. und A. E. Lugo (Hg.): *Natural Sinks of CO₂*; Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 439—453
- Downing, J. u. a. (1993): Land and Interface Zones; In: Wisniewski, J. und R. N. Sampson (Hg.): *Terrestrial Biospheric Carbon Fluxes: Quantification of Sinks and Sources of CO₂; Water, Air and Soil Pollution*, 70, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 123—138
- Dronia, H. (1991): Witterung in Übersee 39 (3)
- Dunster, J. A. (1987): Chemicals in Canadian Forestry: The Controversy continues; *Ambio* 16 (2—3), 142—148
- Edmonds, J. (1992): Why Understanding the Natural Sinks and Sources of CO₂ is Important: A Policy Analysis Perspective; In: Wisniewski, J. und A. E. Lugo (Hg.): *Natural Sinks of CO₂*; Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 11—21
- Ehrendorfer, F. (1983): Floren- und Vegetationsgeschichte; In: *Strasburger Lehrbuch der Botanik*, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1000—1041
- EK (1990a): Schutz der tropischen Wälder; Zweiter Bericht der Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“, Economica-Verlag, Bonn
- EK (1990b): Schutz der Erde; Dritter Bericht der Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“, Economica-Verlag, Bonn
- EK (1992): Klimaänderung gefährdet globale Entwicklung. Zukunft sichern — Jetzt handeln; Erster Bericht der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“, Economica-Verlag, Bonn
- EPA (Environmental Protection Agency) (1992): Effects of CO₂ and Climate Change on Forest Trees, Research Plan; Corvallis
- Falkowski, P. G. und C. Wilson (1992): Phytoplankton productivity in the North Pacific ocean since 1900 and implications for absorption of anthropogenic CO₂; *Nature* 358, 741—743
- FAO (Food and Agriculture Organisation of the United Nations) (1993b): *FAO Yearbook Forest Products 1980-1991*, Rom
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (1989): Schriftliche Stellungnahmen zur öffentlichen Anhörung der Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der

- Erdatmosphäre" zum Thema „Schutz der tropischen Wälder“ am 5. Juni 1989 in Bonn, EK-Drucksache 11/75
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (1991): Status of the Worlds Forests: Documents prepared for UNCED Secretariat; Rome
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (1992a): Schriftliche Stellungnahme zur Anhörung der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ zum Thema „Wissenschaftlicher Sachstand über Treibhauseffekt und Auswirkungen einer Klimaänderung“ am 16. und 17. Januar 1992 in Bonn, EK-Drucksache 12/4-g
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (1993a): Forest Resources Assessment 1990 — Tropical Countries; FAO Forestry Paper 112, Rom
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (1993c): Schriftliche Stellungnahme im Rahmen der Anhörung der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ zum Thema „Potentiale zur Kohlenstofffixierung durch Ausweitung der Waldflächen als Maßnahme zur Klimasanierung“ am 15. März 1993 in Bonn; EK-Drucksache 12/13-a
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (1993d): Tropical Forests Action Programme — Update 30, Rom
- Fatheuer, T. W. (1993): Hoffnung für den Regenwald?, Rio de Janeiro
- Fearnside, P. M., A. T. Tardin und L. G. M. Meira (1990): Deforestation Rate in Brazilian Amazonia, Brasilia
- Fenger, M. A. und A. P. Harcombe (o. J.): Biodiversity, Old-Growth-Forests and Wildlife in British Columbia; Unveröffentlichtes Papier des Umweltministeriums British Kolumbiens
- Fenner, R. (1993): China kommt; Robin Wood Magazin, Nr. 39, 25
- Feshbach, M. und A. Friendly (1992): Ecocide in the USSR; Aurum Press, London
- Flanningan, M. D. und C. E. van Wagner (1991): Climate Change and Wildfire in Canada; Can. J. for. Res. 21, 66—72
- Flint, E. P. und J. F. Richards (1993): Trends in carbon content of vegetation in South and Southeast Asia associated with changes in land use; In: Dale, V. (Hg.): Effects of Land Use Change in Atmospheric CO₂ Concentrations: Southeast Asia as a Case Study, Springer-Verlag
- Forestry Canada (1992a): Selected Forestry Statistics Canada 1991; Forestry Canada, Cat. Fo 1—6/1992E
- Forestry Canada (1992b): Selected Forestry Statistics Canada 1991; For. Canada, Cat. Fo 29-7/46E
- Forestry Canada (1992c): Canada's Modell Forest Programm; Cat. No.F042-183/1-1992E
- Fox, M. F. (1988): Canada's agricultural and forest lands: issues and policy; Canadian Public Policy 14 (3), 266—281
- Friends of the Earth (1994): Sustainable Netherlands, Amsterdam
- Friends of the Earth, Greenpeace, WWF und Swedisch NGO Secariat on Acid Rain (1993): Joint Statement to the eleventh session of the Working Group on Strategies of the UN-ECE Convention on Long Range Transboundary Air Pollution, Genf
- Führer, E. G. (1992): Der Zusammenhang zwischen der Dürre und der Erkrankung der Traubeneichenbestände in Ungarn; Forstwiss. Centralblatt 111, 129—136
- Gates, D. M. (1990): Climate change and forests; Tree Physiology 7, 1—5
- German Watch (1993): Schulden für den Süden reduzieren; Rio Konkret-Materialmappe, Themenheft Verschuldung
- Gerster, R. (1992): Ökologie der Schuldenkrise; Maracuja, Weed-Informationen-Sonderdienst 4/92, 5—6
- Gesellschaft für bedrohte Völker (1992): Kanadas Waldwirtschaft — die Landrechtsfrage in British Kolumbien — British Kolumbiens Waldwirtschaft — Kanadas Regenwald; Freiburg
- Giese, E. und H. Klüter (1990): Industrielle Erschließung und Entwicklung Sibiriens; Geographische Rundschau 42 (7—8), 386—395
- GTZ (Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit) (1989): Schriftliche Stellungnahme zur öffentlichen Anhörung der Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ zum Thema „Auswirkungen der Vernichtung tropischer Wälder“ am 16./17. Mai 1989 in Bonn, EK-Drucksache 11/61
- GTZ (Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit) (1993): Schriftliche Stellungnahme im Rahmen der Anhörung der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ zum Thema „Potentiale zur Kohlenstofffixierung durch Ausweitung der Waldflächen als Maßnahme zur Klimasanierung“ am 15. März 1993 in Bonn; EK-Drucksache 12/13-d
- GTZ (Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit) und KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau) (1993): Sachstandsvermerk über den Vorbereitungsstand des Internationalen Pilotprogramms zur Bewahrung der tropischen Regenwälder Brasiliens (G-7-Pilotprogramm), unveröffentlicht
- Hall, D. O. (1993): Schriftliche Stellungnahme im Rahmen der Anhörung der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ zum Thema „Potentiale zur Kohlenstofffixierung durch Ausweitung der Waldflächen als Maßnahme zur Klimasanierung“ am 15. März 1993 in Bonn; EK-Drucksache 12/13-a
- Handelsblatt (1991): Verstärkte Anstrengungen zur Wiederaufforstung; Handelsblatt 71 (15), 22
- Hänninen, H. (1991): Does climate warming increase the risk of frost damage in northern trees?; Plant, Cell and Environment 14, 449—454
- Harmon, M. E., W. K. Ferrell und J. F. Franklin (1990): Effects on Carbon Storage of Conversion of Old-Growth Forests to Young Forests; Science 247, 699—702
- Haynes, R. W. (1990): An analysis of the timber situation in the United States: 1989—2040; USDA Forest Service, Gen.Techn.Rep. RM-199
- Hearnden, K. W., S. V. Millson und W. C. Wilson (Hg.) (1992): A Report on Status of Forest Regeneration by the Ontario Independent Forest Audit Committee, Toronto
- Heath, L. u. a. (1993): Contribution of Temperate Forests to the World's Carbon Budget; In: Wisniewski, J. und R. N. Sampson (Hg.): Terrestrial Biospheric Carbon Fluxes: Quantification of Sinks and Sources of CO₂; Water, Air and Soil Pollution, 70, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 55—70
- Hedden, R. L. (1989): Global Climate Change: Implications for Silviculture and Pest Management; In: Miller, J. H. (Hg.): Proceedings of the Fifth Biennial Southern Silvicultural Research Conference; Southern Forest Experiment Station, New Orleans, 555—562
- Heimann, M. (1993): Schriftliche Stellungnahme zur nichtöffentlichen Anhörung der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ zum Thema „CO₂-Düngeeffekt?“ am 29. März 1993 in Bonn, EK-Drucksache 12/14-c
- Heinloth, K. (1993): Energie und Umwelt; Teubner und VdF, Stuttgart und Zürich

- Heinselmann, M. L. (1985): Fire regimes and management options in ecosystems with large high-intensity fires; In: *Proceedings-Symposium and Workshop on Wilderness Fire*, Missoula, Montana, 1983; USDA For. Serv., Intermountain Forest and Range Exp. Stat., Ogden, Gen. Tech. Rep. INT-182, 101—109
- Hermann, R. K. (1988): Forstwirtschaft in Nordamerika — die nächsten 50 Jahre; *Forst und Holz* 43 (13), 315—318
- Hofmann, G. (1993): Schriftliche Stellungnahme im Rahmen der Anhörung der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ zum Thema „Potentiale zur Kohlenstofffixierung durch Ausweitung der Waldflächen als Maßnahme zur Klimasanierung“ am 15. März 1993 in Bonn; EK-Drucksache 12/13-c
- Hofmann, G., D. Heinsdorf und H.-H. Krauß (1990): Wirkung atmosphärischer Stickstoffeinträge auf Produktivität und Stabilität von Kiefern-Forstökosystemen; *Beitr. Forstwirtsch.* 24 (2), 59—73
- Holdridge, L. R. (1947): Determination of world formulations from simple climatic data; *Science* 105, 367—368
- Holdridge, L.R. (1967): *Life Zone Ecology*; Rev. ed. Tropical Science Center, San Jose, Costa Rica
- Houghton, R. A. (1991): Tropical deforestation and atmospheric carbon dioxide; *Climatic Change* 19, 99—118
- Houghton, R. A. und J. L. Hackler (1993): The net flux of carbon from deforestation in South and Southeast Asia; In: Dale, V. (Hg.): *Effects of Land Use Change in Atmospheric CO₂ Concentrations: Southeast Asia as a Case Study*, Springer-Verlag
- Houghton, R. A., Skole, D. L. und D. S. Lefkowitz (1991a): Changes in the Landscape of Latin America between 1850 and 1985 — I. Progressive Loss of Forests; *Forestry Ecology and Management*, 38, 143—172
- Houghton, R. A. (1992): Tropical Forests and Climate; Paper presented at the International Workshop „Ecology, Conservation, and Management of Southeast Asian Rainforests, October 12—14, 1992, Kuching, Sarawak
- Huettl, R. F. und H. W. Zoetl (1992): Forest Fertilization: Its Potential to Increase the CO₂ Storage Capacity and to alleviate the Decline of the Global Forests; In: Wisniewski, J. und A. E. Lugo (Hg.): *Natural Sinks of CO₂*; Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 229—249
- Huntley, B. und H. J. B. Birks (1983): *An atlas of past and present pollen maps for Europe: 0—13 000 years ago*; Cambridge University Press, Cambridge
- ILO (International Labour Organization) (1992): *ILO Yearbook of Labour Statistics*, Genf
- IMA (Interministerielle Arbeitsgruppe Nachwachsende Rohstoffe) (1993): Bericht über die Nutzung von Biomasse zur Erzeugung von Wärme und Strom, Bonn
- IMF (International Monetary Fund) (1992): *IMF Yearbook of Financial Statistics*, New York
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1990): *Climate Change — The IPCC Scientific Assessment*; University Press, Cambridge
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1992): *Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*; University Press, Cambridge
- Isermann, K. (1994): Ammoniakemissionen der Landwirtschaft, ihre Auswirkungen auf die Umwelt und ursachenorientierte Lösungsansätze sowie Lösungsaussichten zur hinreichenden Minderung; In: Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ (Hg.): *Studienprogramm Landwirtschaft*, Economica-Verlag, Bonn
- Issajew, A. S. (1990): Neue Forstwirtschaftspolitik in der UdSSR; *Allgemeine Forstzeitschrift* 43—44, 1110—1112
- Jahn, G. (1991): Temperate deciduous forests of Europe; In: Röhrig, E. und B. Ulrich (Hg.): *Temperate Deciduous Forests; Ecosystems of the World* 7, Elsevier, 377—502
- Johnson, J. A. (1992): Effects of forest management on soil carbon storage; In: Wisniewski, J. und A. E. Lugo (Hg.): *Natural Sinks of CO₂*; Kluwer, Dordrecht, Boston, London, 83—120
- Johnston, T. (1992): Long-term fire statistics update: Canada; In: Goldammer, J. G. (Hg.): *International Forest Fire News* No. 7, UN-ECE/FAO, Genf, 17—20 Karius, K. (1990): Orkansäden 1990 — ein Einzelfall?; *Allgem. Forstzeitschrift* 45, 765
- Kauppi, P., K. Mielikäinen und K. Kuusela (1992): Biomass and carbon budget of european forests, 1971 to 1990; *Science* 256, 70—74
- Kawaguchi, H. und K. Yoda (1986): Carbon-cycling changes during regeneration of a deciduous broadleaf forest after clear-cutting. I. Changes in organic matter and carbon storage; *Jap. J. Ecol.* 35, 551—563
- Keeling, C. D. u. a. (1989a): A three dimensional model of atmospheric CO₂ transport based on observed winds: 1. Analysis of observational data; In: Peterson, D. H. (Hg.): *Aspects of climate variability in the Pacific and the Western Americas*, Geophysical Monograph 55, AGU, Washington, 165—236
- Keeling, R. F. und S. R. Shertz (1993): Seasonal and interannual variations in atmospheric oxygen and implications for the global carbon cycle; *Nature* 358, 723—727
- Keeling, C. D. u. a. (1989b): A three dimensional model of atmospheric CO₂ transport based on observed winds: 4. Mean annual gradients and interannual variations; In: Peterson, D. H. (Hg.): *Aspects of climate variability in the Pacific and the Western Americas*, Geophysical Monograph 55, AGU, Washington (USA), 305—363
- Kellog, E. (Hg) (1992): *Coastal Temperate Rain Forests: Ecological Characteristics, Status and Distribution Worldwide*; Ecotrust und Conservation International (Hg): *Occasional Paper Series* No. 1
- Klüter, H. und E. Giese (1990): Territoriale Produktionskomplexe in der Sowjetunion; *Geographische Rundschau* 42 (7—8), 396—402
- Knabe, B. (1988): Die industrielle Entwicklung Südjakuens; *Geographische Rundschau* 40 (9), 22—27
- Knabe, W. (1994): Klimaänderung, Wälder und Forstwirtschaft — Zentrale Aspekte der Gefährdung der Wälder und Möglichkeiten der Anpassung der Bewirtschaftung oder der Minderung schädlicher Einwirkungen; In: Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ (Hg): *Studienprogramm Wälder*, Economica-Verlag, Bonn
- Knopf, H. E. (1991): Die griechischen Förster stehen vor einer fast unlösbaren Aufgabe; *Unser Wald* 43 (9), 25—27
- Kolchugina, T. P. und T. S. Vinson (1993): Equilibrium analysis of carbon pools and fluxes of forest biomes in the former Soviet Union; *Can. J. For. Res.* 23 (1), 81—88
- Korsmo, H. K. (1991): Problems related to the Conservation of Coniferous Forest in Norway; *Environmental Conservation* 18 (3), 255—259
- Krankina, O. N. und R. A. Dixon (1993): Forest Management Options to Conserve and Sequester Terrestrial Carbon in the Russian Federation
- Krankina, O. N. (1991): Contribution of forest fires to the carbon flux of the USSR; Beitrag zum Symposium „Carbon cycling in boreal forests and sub-arctic ecosystems“, Corvallis, Oregon, 9.—12. September 1991, unveröffentl.

- Kreutzer, K. (1993): Immissionen atmosphärischer Stickstoff-Verbindungen aus Landwirtschaft und Verkehr — Ein fortbestehendes Problem nicht nur für die Waldökosysteme; Thesenpapier zur Pressekonferenz „Bilanz aus 10 Jahren Waldschadensforschung“
- Kriebitzsch, W. U. (1991): Der Treibhauseffekt: Ursachen, Wirkungen und Folgen für den Wald; *Forstarchiv* 62, 179—182
- Kronauer, H. (1990): Ausmaß der Sturmschäden 1990 und Maßnahmen zur Bewältigung; *Allgem. Forstzeitschrift* 45, 434—437
- Krüger, H. und H. Graßl (1993): Unterstützung der EMEP-Modellrechnungen: Europäische Deposition schwefel- und stickstoffhaltiger Verbindungen als Folge der Emissionen von Schwefel, Stickoxiden und Ammoniak, im Druck
- Kurz, W. A. u. a. (1992): The Carbon Budget of the Canadian Forest Sector: Phase I
- Kurz, W. A. und M. J. Apps (1993): Contribution of Northern Forests to the Global C Cycle: Canada as a Case Study; In: Wisniewski, J. und R. N. Sampson (Hg.): *Terrestrial Biospheric Carbon Fluxes: Quantification of Sinks and Sources of CO₂, Water, Air and Soil Pollution*, 70, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 163—176
- Kuusela, K. (1990): The dynamics of boreal coniferous forests; *SITRA* 112
- Kuusela, K. (1992): The boreal forests: An overview; *Unasylva* 43 (170), 3—13
- Lenz, K. (1990): Der boreale Waldgürtel Kanadas — Erschließung und aktuelle Entwicklung; *Geographische Rundschau* 42 (7—8), 408—414
- Levin, I. (1993): Schriftliche Stellungnahme zur nichtöffentlichen Anhörung der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ zum Thema „CO₂-Düngeeffekt?“ am 29. März 1993 in Bonn, EK-Drucksache 12/14-c
- Luganskij, N. A., Terinov, N. I. und S. V. Zalesov (1992): Stand und Probleme der Forstwirtschaft im Ural; *Lesnoi Zhurnal* 35(4), 12—19 (in russisch)
- Lugo, A. E. und J. Wisniewski (1992): Natural Sinks of CO₂ Conclusions, Key Findings and Research Recommendations from the Palmas Del Mar Workshop; In: Wisniewski, J. und A. E. Lugo (Hg.): *Natural Sinks of CO₂*; Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 455—459
- Lugo, A. und S. Brown (1992): Tropical Forests as Sinks of Atmospheric Carbon; In: *Forest Ecology and Management*, S. 199ff
- Mac Donald, G. M. (1992): Long-term monitoring of boreal forests using fossil pollen records; *Unasylva* 43 (170), 14—21
- MacCleery, D. W. (1992): What on earth have we done with our forests? A brief overview on the condition and trends of U.S. Forests; *USDA Forest Service, FIERR*
- MacNeill, J., P. Winsemius und T. Yakushiji (1991): Beyond Independence. The Meshing of the World's Economy and the Earth's Ecology; New York/Oxford
- Mälikönen, E., T. Lehto und A. Smolander (1992): Prevention and alleviation of air pollution induced forest damage through soil amelioration; In: Kanninen, M. und P. Anttila: *The Finnish Research Programme on Climate Change*, Progress Report, Publ. Academy of Finland 3/92, 286—289
- Manabe, S. und R. J. Stouffer (1993): Century-scale effects of increased atmospheric CO₂ on the ocean-atmospheric system; *Nature* 364, 215—217
- Marland, G. und S. Marland (1992): Should we store Carbon in Trees?; In: Wisniewski, J. und A. E. Lugo (Hg.): *Natural Sinks of CO₂*; Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 181—195
- Maydell, H.-J. von (1990): Entwicklungsperspektiven der Forstwirtschaft der Sowjetunion in den nächsten Jahrzehnten; *Allgemeine Forstzeitschrift* 43—44, 1105—1109
- Maydell, H.-J. von (1993): persönliche Mitteilung
- Maydell, H.-J. von u. a. (1992): Baltische Staaten: Estland, Lettland, Litauen; *AFZ* 47 (25), 1318—1356
- Maydell, H.-J. von und S. Cejchan (1991): Die Forstwirtschaft im Fernen Osten der Sowjetunion. Alarmierende Entwicklung; *Allgemeine Forstzeitschrift* 17, 850—854
- MELF SLH (Der Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Schleswig-Holstein) (1992): *Jagdbericht Schleswig-Holstein 1991/1992*, Kiel
- Minister of Energy, Mines and Resources (1990): *Electric Power in Canada 1990*, Ottawa
- Minister of Supply and Services Canada (1993): *Canadas Green Plan. The second Year*, Ottawa
- Ministerium für Außenhandelsbeziehungen der UdSSR und Staatsforstkomitee der UdSSR für Statistik (1991): *Außenhandelsbeziehungen der UdSSR 1990*; Statistisches Jahrbuch, Moskau
- Mooney, H. A., Vitousek, P. M. und P. A. Matson (1987): Exchange of Materials between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere; In: *Science*, Vol. 238, S. 926—932
- Moulton, R. J. und K. R. Richards (1990): Costs of Sequestering Carbon through Tree Planting and Forest Management in the United States; *USDA, Forest Service, General Technical Report WO-58*, 1—47
- Müller-Kraenner, S. (1994): Kann, aus der Sicht eines Umweltverbandes, die Forstwirtschaft einen Beitrag zur Lösung des globalen Klimaproblems leisten?; In: *Verband Weihenstephener Forstingenieure (Hg.): Waldökosysteme im Globalen Klimawandel — Hintergründe und Handlungsbedarf*, *Economica-Verlag*, Bonn
- Musselman, R. C. und D. G. Fox (1991): A Review of the Role of Temperate Forests in the Global CO₂ Balance; *J. Air Waste Manage. Assoc.*, 798—807
- Myers, N. (1989): The Heat is on: How Warming threatens the Natural World; *Greenpeace*, May/June 1989
- Myers, N. (1991): Tropical Forests, Present Status and Future Outlook; *Climate Change* 19, 3—32
- Natur (1992): Schweden: Zahl der Bären nimmt zu; 2/92, 12
- Neilson, R. P. (1992): A model for predicting continental-scale vegetation distribution and water balance; *Dpt. Botany and Plant Pathology, Oregon State University, Corvallis*
- Neilson, R. P. (1993): Vegetation redistribution: A possible biosphere source of CO₂ during climatic change; In: Wisniewski, J. und R. N. Sampson (Hg.): *Terrestrial Biospheric Carbon Fluxes: Quantification of Sinks and Sources of CO₂, Water, Air and Soil Pollution*, 70, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 659—673
- Nießlein, E. (1994): Elemente einer Waldkonvention; In: *Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ (Hg.): Studienprogramm Wälder*, *Economica-Verlag*, Bonn
- Norbu, T. (1993): Der Kahlschlag in Tibet; *Robin Wood Magazin*, Nr. 39, 24—25
- Oechel, W. C. u. a. (1993): Recent change of Arctic tundra ecosystems from a net carbon dioxide sink to a source; *Nature* 361, 520—523
- Oechel, W. C. und B. R. Strain (1985): Native Species responses to increased atmospheric carbon dioxide concentration; In: *US-Department of Energy — DOE (Hg.): Direct Effects of Increasing Carbon Dioxide on Vegetation*; DOE/ER-0238

- Oelke, H. und U. Schulz-Kühnel (1986): Biologie und Jagd. 2. Ökologie von Wildtierpopulationen; Praxis der Naturwissenschaften — Biologie, 35 (5), 3—11
- Ojima, D. u. a. (1993): Assessment of C Budget for Grasslands and Drylands in the World; In: Wisniewski, J. und R. N. Sampson (Hg): Terrestrial Biospheric Carbon Fluxes: Quantification of Sinks and Sources of CO₂; Water, Air and Soil Pollution, 70, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 95—110
- Ökologische Briefe (1992): Den borealen Wäldern Rußlands droht der Raubbau; Nr. 15, 16—18
- Ollmann, H. (1993 a): Entwicklung und Perspektiven der Holzverwendung, Hamburg
- Ollmann, H. (1993 b): Die Tropenholzeinfuhr der Bundesrepublik Deutschland 1960 — 1992; Arbeitsbericht der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg
- Olson, J. S., J. S. Watts und L. J. Allison (1983): Carbon in live vegetation of major world ecosystems; Environ. Sci. Div., Publ.No. 1997, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, ORNL-5862
- Olson, J. S. u. a. (1985): Major world ecosystem complexes ranked by carbon in live vegetation: a database; CDIC Numeric data collection, NDP-017
- Orlov, A. I. (1990): Northern forests: deficiency with abundance; Lenaja Promyschlennost (Holzindustrie) 1, 23 (in russisch)
- Orr, J. C. und J. L. Sarmiento (1992): Potential of Marine Macroalgae as a Sink for CO₂: Constraints from 3-D General Circulation Model of the Global Ocean; In: Wisniewski, J. und A. E. Lugo (Hg.): Natural Sinks of CO₂; Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 405—421
- Overpeck, J. T., D. Rind und R. Goldberg (1990): Climate-induced changes in forest disturbance and vegetation; Nature 343, 51—53
- Ozon-Symposium (1991): Tagungsband des Ozon-Symposiums, München, Juli 1991
- Pelkonen, P. (1993): Schriftliche Stellungnahme im Rahmen der Anhörung der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ zum Thema „Potentiale zur Kohlenstofffixierung durch Ausweitung der Waldflächen als Maßnahme zur Klimasanierung“ am 15. März 1993 in Bonn; EK-Drucksache 12/13-a
- Peters, C. M., A. H. Gentry und R. O. Mendelsohn (1989): Valuation of an Amazonian Rainforest; Nature 339, 655 bis 656
- Petrof, D. (1992): Amazonien am Polarkreis — Kahlschlag in der sibirischen Taiga; In: Thurn, V. und B. Clasen (Hg): Klassenfeind Natur — Die Umweltkatastrophe in Osteuropa, Ökozidextra, Focus, Gießen, 170—177
- Poker, J. (1994 a): Bestandsaufnahme und Gefährdung der borealen Wälder: Ursachen und Folgen ihrer Zerstörung sowie künftige Entwicklung; In: Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ (Hg.): Studienprogramm Wälder, Economica-Verlag, Bonn
- Poker, J. (1994 b): Bestandsaufnahme und Gefährdung der temperierten Wälder der Nordhemisphäre; In: Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ (Hg.): Studienprogramm Wälder, Economica-Verlag, Bonn
- Post, W. M. u. a. (1982): Soil carbon pools and world life zones; Nature 298, 156—159
- Postel, S. und J. C. Ryan (1991): Reform der Forstwirtschaft; In: Brown, L. (Hg.): Zur Lage der Welt 91/92, S.155—196
- Postel, S. und L. Heise (1988): Wiederaufforstung: Die Welt braucht Wälder; In: Brown, L. (Hg): Zur Lage der Welt 1988/89, Frankfurt
- Prentice, C. (1986): Vegetation responses to past climatic variation; Vegetatio 67, 131—141
- Prentice, C. (1990): Bioclimatic distribution of vegetation for GCM studies; Journal of Geophysical Research 95, 811—830
- Prentice, C. u. a. (1992): A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate
- Province of British Columbia (1993): Clayoquot Sound Land Use Decision; Victoria
- Quay, P. D., B. Tilbrook und C. S. Wong (1992): Oceanic Uptake of fossil fuel CO₂: Carbon-13 evidence; Science 256, 74—79
- Remmert, H. (1993): Ökologie. Ein Lehrbuch
- Rice, T. und S. Counsell (1993): Forests Foregone — The European Community's Trade in Tropical Timbers and the Destruction of the Rainforests, London
- Riebesell, U. und D. Wolf-Gladow (1992): Das Defizit in der Kohlenstoffbilanz; Spektrum der Wissenschaft, Juli 1992
- Riebesell, U., D. A. Wolf-Gladrow und V. Smetacek (1993): Carbon dioxide limitation of marine phytoplankton growth rates; Nature 361, 249—251
- Rind, D. u. a. (1990): Potential Evapotranspiration and the Likelihood of Future Drought; J. Geophys. Research 95 (7), 9983—10004
- Robertson, J. E. und A. J. Watson (1992): Thermal skin effect of the surface ocean and its implications for CO₂ uptake; Nature 358, 738—740 Robin Wood (1993): Boreale Wälder; Hamburg
- Rosencranz, A. und A. Scott (1992): Siberia's threatened forests; Nature 355, 293—294
- Rothwell, R. L. (1992): Resource development disturbance in the boreal forest of northern Alberta; In: Engelmark, O. und R. Bradshaw (Hg.): Disturbance dynamics in boreal forests; Sect. For. Sci., Univ. Umea, Umea
- Roy, C. R., H. R. Griess und J. Elliott (1990): Nature 347, 235
- Rudd, J. u. a. (1993): Are Hydroelectric Reservoirs significant sources of Greenhouse Gases?; Ambio 22 (4), 246—248
- Sampson, R. N. (1993): Schriftliche Stellungnahme im Rahmen der Anhörung der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ zum Thema „Potentiale zur Kohlenstofffixierung durch Ausweitung der Waldflächen als Maßnahme zur Klimasanierung“ am 15. März 1993 in Bonn; EK-Drucksache 12/13-b
- Sampson, R. N. u. a. (1993): Workshop Summary Statement; In: Wisniewski, J. und R. N. Sampson (Hg): Terrestrial Biospheric Carbon Fluxes: Quantification of Sinks and Sources of CO₂; Water, Air and Soil Pollution, 70, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 3—18
- Sampson, R. N. und D. Hair (Hg) (1992): Forests and Global Change, Vol.1: Opportunities for Increasing Forest Cover; Washington D.C.
- Sandnes, H. und H. Styve (1992): Calculated budgets for airborne acidifying components in Europe 1985, 1987, 1988, 1989, 1990 and 1991; EMEP MSC-West, 1/92, DNMI, Oslo
- Sangi, W. (1992): Das Ende der Rentierhirten — Sibiriens Naturvölkern droht das Aus; In: Thurn, V. und B. Clasen (Hg): Klassenfeind Natur — Die Umweltkatastrophe in Osteuropa, Ökozidextra, Focus, Gießen, 104—112
- Sarmiento, J. L. und E. T. Sundquist (1992): Nature 356, 589—593
- Schinke, H. (1992): Zum Auftreten von Zyklonen mit Kerndrücken 990 hPa im atlantisch-europäischen Raum von 1930 bis 1991; Spezialarbeiten aus der Arbeitsgruppe Klimaforschung

- des Meteorologischen Instituts der Humboldt-Universität Berlin, Berlin
- Schlesinger, W. H. (1991): Climate, Environment and Ecology; In: Jäger, J. und H.L. Ferguson (Hg.): Climate Change: Science, impacts and policy; Cambridge University Press, Cambridge, 371—470
- Schlesinger, W. H. (1990): Evidence from chronosequence studies for a low carbon-storage potential of soils; *Nature* 348, 228
- Schreiber, D. (1978): Meteorologie, Klimatologie; Bochum, Studienverlag Brockmeyer
- Schultz, J. (1988): Die Ökosozonen der Erde, UTB, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart
- Schwidenko, A. S., A. Kusmitschew und S. Cejchan (1992): Stand und Entwicklung der Holznutzung in der Gemeinschaft Unabhängiger Staaten. Teil 1—3; HZB, 118 (56), 894, (68), 1116—1118, (73/74), 1218
- Schwidenko, A. (1993): Schriftliche Stellungnahme im Rahmen der Anhörung der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ zum Thema „Potentiale zur Kohlenstofffixierung durch Ausweitung der Waldflächen als Maßnahme zur Klimasanierung“ am 15. März 1993 in Bonn; EK-Drucksache 12/13-g
- Schwidenko, A. S., A. Kusmitschew und C. Cejchan (1990): Wälder der Sowjetunion und ihre Entwicklung; *Allgemein Forstzeitschrift* 43—44, 1097—1104
- SCOPE und UNEP (Hg.) (1992): Effects of Increased Ultraviolet Radiation on Biological Systems, Budapest
- Sedjo, R. und A. Solomon (1989): Climate and forests; In: Rosenberg, N. u. a. (Hg.): Greenhouse Warming: Abatement and Adaptation, Resources for the Future; Washington D. C.
- Shubin, V. A. (1992): Forests and Forestry in Russia; Proc. IUFRO Intern. Conf. „Integrated sustainable multiple-use forest management under the market system“, September. 6—12, Pushkino, Russia (in Vorb.)
- Shugart, H. H. u. a. (1986): CO₂, climate change and forest ecosystems; In: Bolin, B. u. a. (Hg.): The Greenhouse Effect, Climatic Change and Ecosystems, Scope 29, John Wiley & Sons, New York, 475—521
- Siegert, F., V. Liebig und A. Wanninger (1993): Fernerkundung zum Schutz des Regenwaldes; *Geographische Rundschau* 45 (12), 696—701
- Sierra Club (o. J.): The Rainforest Story, Vancouver
- Sierra Club und Wilderness Society (1991): Ancient Rainforests at Risk. An Interim Report by the Vancouver Island Mapping Project, Vancouver
- Sirois, L. (1992): The transition between boreal forest and tundra; In: Shugart, H. H., Leemans, R. und G. B. Bonan (Hg.): A system analysis of the global boreal forest; Cambridge University Press, Cambridge, 196—215
- Sittig, M. (1979): Fertilizer Industry process, pollution control and energy conservation; Noyes Data Corporation, Park Ridge, New Jersey
- Skole, D. und C. Tucker (1993): Tropical Deforestation and Habitat Fragmentation in the Amazon: Satellite Data from 1978 to 1988; *Science* 260, 1905—1910
- Smith, T. u. a. (1992): Modelling the potential response of vegetation to global climate change; *Advances in Ecological Research* 22, 93—116
- Smith, T. und H.H. Shugart (1993): The transient response of terrestrial carbon storage to a perturbed climate; *Nature* 361, 523—526
- Soyez, D. (1992): Hydro-Energie aus dem Norden Quebecs; *Geographische Rundschau* 44 (9), 494—501
- Staatsforstkomitee der UdSSR (1990): Statistisches Handbuch Lesnoi fond SSR. Waldinventur zum 1. Januar 1988; Bd. I, Moskau (in russisch)
- Statistisches Bundesamt (1991): Länderbericht Kanada; Wiesbaden
- Statistisches Bundesamt (1992): Länderbericht Korea, Republik; Wiesbaden
- Strain, B. R. und R. B. Thomas (1992): Field measurements of CO₂ enhancement and climate change in natural vegetation; *Water, Air and Soil Pollution* 64, 45—60
- TAB (Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag) (1993): TA-Projekt „Grundwasserschutz und Wasserversorgung“; Teilbericht „Grundwasserdefizite durch Braunkohletagebau in den neuen Ländern“, TAB-Arbeitsbericht Nr. 17 — Teilbericht V, Bonn
- Tans, P. P., I. Y. Fung und T. Takahashi (1990): Observational constraints on the global atmospheric carbon dioxide budget; *Science* 247, 1431—1438
- Thielbeer, S. (1993): Mit liebevollem Blick für die Flechten und Moose; *Frankfurter Allgemeine Zeitung* vom 15. März 1993
- Treter, U. (1990a): Die borealen Waldländer; *Geographische Rundschau* 42 (7—8), 372—381
- Treter, U. (1990b): Holzvorrat und Holznutzung in den borealen Waldländern; *Geographische Rundschau* 42 (7—8), 382—385
- Treter, U. (1993): Die borealen Waldländer; Westermann-Verlag, Braunschweig
- Trexler, M. C. (1991): Minding the Carbon Store: Weighing U.S. Forestry Strategies to slow Global Warming, World Resources Institute, Washington D.C.
- Trexler, M. C. und C. Haugen (1993): Keeping it green: Evaluating Tropical Forestry Strategies to Mitigate Global Warming, World Resources Institute, Washington DC
- Trexler, M. C., Haugen, C. A. und L. A. Loewen (1992): Global warming mitigation through forestry options in the tropics; In: Sampson, N. und D. Hair (Hg.): Forests and Global Change, Vol. 1: Opportunities for Increasing Forest Cover; Washington D.C., 73—96
- TRN (Taiga Rescue Network) (1993): The Taiga. A Treasure — or timber and trash?
- Tschibisov, G. A., Cvetkov, V. F. und B. A. Semenov (1992): Wälder des hohen Nordes und Probleme ihrer Erhaltung; *Lesnoi Zhurnal* 35(4), 7—11 (in russisch)
- UBA (Umweltbundesamt) (1989): Jahresbericht 1989, Berlin
- UBA (Umweltbundesamt) (1991): Daten zur Umwelt 1990/91, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- UBA (Umweltbundesamt) (1993): Übersicht über die Ammoniakemissionen; unveröffentlicht
- Ulrich, B. (1991): Introduction to acidic deposition effects: critical deposition rates and emission densities; In: Chadwick, M. J. und M. Hutton (Hg.): Acid depositions in Europe, Stockholm Environment Institute, 2—16
- Ulrich, B. (1993): Vorhersage der künftigen Entwicklung der Waldökosysteme — was kann die Forschung leisten“; Thesenpapier zur Pressekonferenz „Bilanz aus 10 Jahren Waldschadensforschung“
- Ulrich, B. und J. Puhe (1994): Auswirkungen der zukünftigen Klimaveränderung auf mitteleuropäische Waldökosysteme und deren Rückkopplungen auf den Treibhauseffekt; In: Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ (Hg.): Studienprogramm Wälder, Economica-Verlag, Bonn
- UN (United Nations) (1992): UN Handbook of Industrial Statistics 1990, New York

- UN-ECE (United Nations — Economic Commission for Europe) (1991): Assessment of long-range Transboundary Air Pollution; Air Pollution Studies No. 7, Geneva, New York
- UN-ECE (United Nations — Economic Commission for Europe) (1994): Protocol to the 1979 Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution on Further Reduction of Sulphur Emissions, Oslo
- UN-ECE/CEE (United Nations Economic Commission for Europe/Commission of the European Communities) (1992): Der Waldzustandsbericht in Europa; Kurzbefragung; Brüssel, Genf
- UN-ECE/CEE (United Nations Economic Commission for Europe/Commission of the European Communities) (1992): Forest Conditions in Europe — 1992 Report; Brüssel, Genf
- UN-ECE/FAO (United Nations — Economic Commission for Europe/Commission of the European Communities) (1993): Benefits and Functions of the Forest; The Forest Resources of the Temperate Zones, Vol.2
- UN-ECE/FAO (United Nations Economic Commission for Europe/Food and Agriculture Organization of the UN) (1984): Forest Fire Statistics, Timber Bulletin for Europe, Vol. XXXVI, Suppl. 7, Genf
- UN-ECE/FAO (United Nations Economic Commission for Europe/Food and Agriculture Organization of the UN) (1992a): The Forest Resources of the temperate Zones. Main findings of the UN-ECE/FAO 1990 Forest Resource Assessment; ECE/TIM/60, New York
- UN-ECE/FAO (United Nations Economic Commission for Europe/Food and Agriculture Organization of the UN) (1992b): General Forest Resource Information; The Forest Resources of the Temperate Zones, Vol.1
- VDP (Verband Deutscher Papierfabriken) (1993): Papier '93 — Ein Leistungsbericht der deutschen Zellstoff- und Papierindustrie, Bonn
- Vinson, T. und T. Kolchugina (1993): Pools and Fluxes of Biogenic Carbon in the Former Soviet Union; In: Wisniewski, J. und R. N. Sampson (Hg.): Terrestrial Biospheric Carbon Fluxes: Quantification of Sinks and Sources of CO₂; Water, Air and Soil Pollution, 70, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 223—238
- Vogt, H.-H. (1991): Umweltsanierung auf der Halbinsel Kola; Naturwissenschaftliche Rundschau 44 (5)
- Walter, H. und S.W. Breckle (1986): Ökologie der Erde, Band 3: Spezielle Ökologie der Gemäßigten und Arktischen Zonen Euro-Nordasiens, UTB Fischer, Stuttgart
- Walter, H. und S.W. Breckle (1991): Ökologie der Erde, Band 4: Gemäßigte und Arktische Zone außerhalb Euro-Nordasiens, UTB Fischer, Stuttgart
- Warrick, R. A. u. a. (1986): The Effects of Increased CO₂ and Climate Change on Terrestrial Ecosystems; In: Bolin, B. u. a. (Hg.): The Greenhouse Effect, Climatic Change and Ecosystems, Scope 29, 363—392
- Wastenson, L. (Hg) (1990): National Atlas of Sweden: The Forests; SNA Publ., Stockholm
- Webb, C. (1992): The Status of Vancouver Island's threatened Old Growth Forests; Vancouver
- Weigand, J. (1990): Coastal Temperate Rain Forests: Definition and global distribution with particular emphasis on North America; Unpublished report prepared for Ecotrust/Conservation International
- Wein, N. (1988): Bratsk — Dreißig Jahre sozialistische Stadtentwicklung in Sibirien; Geographische Rundschau 40 (9), 28—33
- Weissenburger, U. (1990): Umweltprobleme in der borealen Nadelwaldzone der UdSSR; Geographische Rundschau 42 (7—8), 403—407 Weissenburger, U. (1993): Grundlegende Daten zur Umweltsituation in den Nachfolgestaaten der Sowjetunion; Vierteljahresshefte zur Wirtschaftsforschung, 1/2, 43—57
- Whittaker, R. H. und G. E. Likens (1973): Carbon in the biota; In: Woodwell, G. M. und E. V. Pecan (Hg.): Carbon and the biosphere; Nat. Tech. Infor. Center, Springfield, Va., 281—302
- Winjum, J. K., Dixon, R. K. und P. E. Schroeder (1992): Estimating the global potential of forest and agroforest management practices to sequester carbon; In: Wisniewski, J. und A. E. Lugo (Hg.): Natural Sinks of CO₂; Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 213—227
- Wisniewski, J. und A. E. Lugo (Hg.) (1992): Natural Sinks of CO₂; Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London
- Wisniewski, J. und R. N. Sampson (Hg) (1993): Terrestrial Biospheric Carbon Fluxes: Quantification of Sinks and Sources of CO₂; Water, Air and Soil Pollution, 70, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- Woodwell, G. M. (1990): The Effects of Global Warming; In: Leggett, J. (Hg.): Global Warming — The Greenpeace Report, 116—148
- WRI (World Resources Institute) (1990): World Resources 1990 — 1991: A Report by the World Resources Institute in Collaboration with the United Nations Environmental Program and The United Nations Development Program, Oxford University Press, New York
- Zech, W. u. a. (1989): Auswirkungen und Erfolgsbedingungen von Aufforstungsvorhaben in Entwicklungsländern; Forschungsberichte des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit, Band 93, Weltforum Verlag, Köln
- Zellner, R. (1993): Ozonabbau in der Stratosphäre; Chemie in unserer Zeit, 27 (5), 230—236
- Zinke, P. J. u. a. (1986): Worldwide organic soil carbon and nitrogen data; CDIC Numeric Datas Collection, NDP-018

Anhang

1. Glossar

abiogen; abiotisch

ohne Leben, leblos, aus unbelebten Material

Absorption von Strahlung

Aufnahme von Strahlungsenergie durch einen festen Körper, eine Flüssigkeit oder ein Gas; hierbei wird die Energie aufgenommen und in eine andere Energieform, meist in Wärme, umgewandelt

Acetat

Kurzbezeichnung für Celluloseacetat, Salz der Essigsäure, → Cellulose

Acetogenese

Acetatbildung (→ Acetat)

Acetylen

Säurerest der Essigsäure

Advektion

in waagerechter Richtung erfolgende Zufuhr von Luftmassen bzw. von Wassermassen in den Weltmeeren; Gegensatz zu → Konvektion

advektiv

durch Advektion herbeigeführt

Aerenchym

luftführender → Interzellularraum bei Wasser- und Sumpfpflanzen

aerob

Sauerstoff zum Leben brauchend; bei Anwesenheit von Sauerstoff

Aerosol

Feste oder flüssige Teilchen in der Luft, außer Wasser- und Eispartikeln, im Größenbereich zwischen 0,1 und 100 µm.

Aggregatzustand, Aggregatstabilität

Erscheinungsform eines Stoffes (fest, flüssig, gasförmig)

Agrarökosystem

→ Ökosystem der Landwirtschaft

Agroforstwirtschaft (Agroforestry)

In ein landwirtschaftliches Betriebssystem integrierte Form des plantagenmäßigen Anbaus von Bäumen zur Erzeugung von Holz und anderen Walderzeugnissen bzw. ein Betriebssystem mit ökologisch, technisch und ökonomisch nachhaltig integriertem Anbau von Bäumen gemeinsam mit landwirtschaftlichen Nutzpflanzen oder Weiden.

Akkumulation

Anhäufung, Speicherung, Ansammlung

Albedo

(Reflexionsvermögen), Verhältnis von reflektierter zu einfallender Strahlung in einem bestimmten Wellenlängenbereich, angegeben für eine bestimmte Oberfläche (z. B. Meeresoberfläche, Schnee oder das System Erde/Atmosphäre als Ganzes).

alkalisch

→ basisch; wässrige Lösung mit pH-Wert > 7

Allokation

Zuweisung von Produktionsfaktoren, Rohstoffen und Zwischenerzeugnissen zu von Produzenten ausgeführten Produktionsprozessen

Aminosäure

organische Säure, bei der ein Wasserstoffatom durch eine Aminogruppe ersetzt ist (wichtiger Baustein der Eiweißkörper).

anaerob

Unter Luftabschluß, z. B. im Wasser.

Anion

negativ geladenes → Ion

annuell

einjährig (bei Pflanzen)

anorganisch

(1) zum unbelebten Bereich der Natur gehörend, ihn betreffend

(2) ohne Mitwirkung von Lebewesen entstanden

anoxisch

ohne Anwesenheit von Sauerstoff;

antagonistisch

gegensätzlich, in einem nicht ausgleichenden Widerspruch stehend

anthropogen

[griech. anthropos = Mensch und griech. genes = hervorbringend, hervorgebracht]; Durch menschliche Einwirkungen verursacht oder ausgelöst.

äquivalent

gleichwertig

Arid

Trockenes Klima mit weniger als drei feuchten Monaten pro Jahr.

Arthropoden

Gliederfüßler

Assimilation

die Bildung von Kohlenhydraten aus dem CO₂ der Luft und aus Wasser unter dem Einfluß des Lichtes, wobei Sauerstoff abgegeben wird, → Photosynthese.

Assimilatproduktion

→ Assimilation

Astenosphäre

Fließzone des oberen Erdmantels

Ästuar

Trichterförmige Flußmündung

asymbiontisch

freilebend, nicht in → Symbiose lebend

Atmosphäre

[griech. atmos = Dunst, Dampf und griech. sphaira = (Erd)Kugel]

Die gasförmige Hülle eines Himmelskörpers, speziell die Luft-hülle der Erde, gegliedert in → Troposphäre, → Stratosphäre und weitere höhere Atmosphärenschichten.

autochthon

an Ort und Stelle entstanden

Basen

anorg. oder org. Verbindungen, die in wäßriger Lösung Hydroxyl-Ionen (OH⁻) erzeugen und den pH-Wert der Lösung anheben (→alkalische Reaktion)

basisch

wie eine →Base verhaltend

Bestandesabfallauflage

auf dem Boden aufliegendes abgestorbenes organisches Material (Blätter, Pflanzenteile, tote Tiere etc.)

Bestockung

Ausbildung von Seitentrieben am unteren Ende des Sprosses, führt bei Gräsern (Getreide) zu zahlreichen Halmen (Bestockungstrieben) aus einer Pflanze

Bewirtschaftungsbrand

Abbrennen des (stark verholzten) Aufwuchses, um durch dessen Regeneration eine anschließende Nutzung als Weide oder eine andere pflanzenbauliche Nutzung zu ermöglichen

Biodiversität

biologische Vielfalt

Biogas, (Faulgas/Deponiegas)

brennbares Gasgemisch, das bei der Zersetzung von →Biomasse (Fäkalien, Siedlungs- und Gartenabfällen etc.) durch Bakterien unter Luftabschluß (→anaerob) gebildet wird

Biogasanlage

Anlage zur Gewinnung von →Biogas als regenerativen Energieträger

biogen

durch die Tätigkeit von Lebewesen entstanden

Biom

Lebensgemeinschaft von Tieren und Pflanzen in einem größeren geographischen Raum (tropischer Regenwald, Savanne u. a.).

Biomasse

die gesamte Masse an lebenden Organismen einer Art oder aller Arten in einer Gesellschaft, setzt sich zusammen aus der pflanzlichen (Phytomasse) und der tierischen (Zoomasse) Biomasse. Die Masse toter und abgefallener Pflanzenteile wird oft zusätzlich ermittelt und als „tote“ Biomasse (→Bestandsabfall) angegeben.

Biosphäre

die mit Lebewesen besiedelten Schichten der Erde: die Atmo-, Hydro- und Pedosphäre vom Leben erfüllte und diesem einem Lebensraum bietende Hülle der Geosphäre (Erde) und die untere Atmosphäre (Luft) mit allen Lebewesen.

biotisch

auf Lebewesen, auf Leben bezüglich

Biotop

durch bestimmte Pflanzen- und Tiergesellschaften gekennzeichnet Lebensraum.

Bioturbation

Vermischen der Bodensubstanz durch die Wühltätigkeit im Boden lebender Tiere

Biozide

chemische Mittel zur Abtötung von pflanzlichem und tierischem Leben (→Herbizide und →Pestizide), vorwiegend als Pflanzenschutzmittel eingesetzt

Biozönose

Lebensgemeinschaft, Gesellschaft von Pflanzen und Tieren in einem →Biotop

Blattherbizide

→Herbizide, die auf den oberirdischen Sproß der Pflanze einwirken

Blütenendfäule

durch pilzliche Krankheitserreger verursachtes Schadbild

Bodenalbedo

→Albedo

Bodenatmung

CO₂-Bildung im Boden durch Atmungsvorgänge von Bodenlebewesen, Pflanzenwurzeln etc.

Bodenerosion

die durch die Tätigkeit des Menschen über das natürliche Maß hinaus gesteigerte Abtragung v.a. des landwirtschaftlich genutzten Bodens durch Wasser und Wind. Hauptursache ist die Beseitigung des natürl. Pflanzenkleides bei der Gewinnung neuer Ackerflächen; dadurch ist der Boden vor der Saat und nach der Ernte ungeschützt Winden und Niederschlägen ausgesetzt.

Bodenfeuchte

→Bodenwassergehalt

Bodenwassergehalt

Anteil des Wassers an der gesamten Bodensubstanz.

boreal

nördlich; dem nördlichen Klima Europas, Asiens und Amerikas zugehörig.

Brachezeiten

vorübergehend (meist für eine Vegetationsperiode) ungenutztes Ackerland

Bündelscheidenzellen

Pflanzenzellen, die bei →C₄-Pflanzen die Gefäßbündel im Blatt scheidenartig umkleiden

C3-Pflanzen/C4-Pflanzen

Pflanzenartabhängiger Unterschied in der Fixierung des CO₂-Moleküls. Bei C₃-Pfl. wird CO₂ an ein Molekül mit 5 Kohlenstoffatomen gebunden, bei dessen Spaltung sich zwei Moleküle mit 3 Kohlenstoffatomen bilden; Bei C₄-Pfl. erfolgt die CO₂-Fixierung durch ein Molekül mit 4 Kohlenwasserstoffatomen.

CAM-Pflanzen (→Crassulacean Acid Metabolism)

bei dieser Pflanzengruppe (vorwiegend Crassulaceen und andere Sukkulente) erfolgt die CO₂-Fixierung nachts, um es tagsüber freizusetzen und der →Photosynthese zuzuführen. Diese Pflanzen können daher tagsüber bei geschlossenen →Stomata die Photosynthese aufrecht erhalten.

Carbonylverbindungen

Bezeichnung für die zweibindige funktionelle Gruppe C=O, die unter anderem in Aldehyden, Ketonen, Carbonsäuren und Chinonen enthalten ist.

Carboxylase (/Oxygenase)

Enzym, das die Übertragung von Kohlendioxid in Biomoleküle katalysiert.

cash crops

Landwirtschaftliche Produkte der Entwicklungsländer, die für den Export in die Industrieländer angebaut werden (Kaffee, Bananen, Kakao, Futtermittel etc.)

Cellulose

Polysaccharid, das als Gerüstsubstanz von Pflanzenzellen in der Natur weit verbreitet ist. Z.B. Baumwolle bis zu 95 %, Holz 40–50 %.

Cerradofläche (port.)

Dicht, geschlossen

Waldartiger offener Vegetationstyp in Zentralbrasilien mit charakteristischer Flora, und der durch bestimmte physische Eigenschaften wie offenes niedriges Gehölz oder Gebüsch, offene bis locker geschlossene Bodenvegetation, krüppelige, oft buschige, an Trockenheit angepaßte Bäume gekennzeichnet ist.

Chemo-Denitrifikation

→Denitrifikation

Chlorophyll

(„Blattgrün“) grüner Farbstoff in Pflanzenzellen, der die →Assimilation ermöglicht

Chloroplast

Organ der Pflanzenzellen, die das →Chlorophyll enthält.

Chlorose

Abbau von Chlorophyll als Symptom bei Nährstoffmangel, Krankheiten und Einwirkung von Luftschadstoffen

Chromatophoren

farbstofftragende →Organelle der Pflanzenzelle.

Chromosom

stäbchen- oder fadenförmige Trägersubstanz des Erbgutes im Zellkern; Nukleinsäurenkette

CO₂-Düngeeffekt

Verstärkung des Pflanzenwachstums durch eine höhere CO₂-Konzentration in der Atmosphäre.

Crassulaceen

→CAM-Pflanzen

Cumestrol

eine Substanz, die in ihrer Wirkung dem Schwangerschaftshormon Östrogen vergleichbar ist

Degradierung/Degradation

Veränderung der natürlichen Vegetation oder des typischen Profils eines Bodens durch menschliche Eingriffe, durch Änderung des Klimas, der Pflanzendecke oder der Bodenbesiedlung. Die Degradierung ist oft mit einem Rückgang der Bodenfruchtbarkeit verbunden.

Denaturierung

irreversible Veränderung eines Stoffes (z. B. Eiweiß) durch Erhitzung

Denitrifikation

Mikrobieller Stickstoffabbau, d. h. Reduktion von Nitrat (NO₃) zu atmosphärischem Stickstoff (N₂) oder zu Distickstoffoxid (N₂O).

Deposition

Ablagerung von Luftgetragenen Schadstoffen auf Oberflächen (z. B. Pflanzen)

Desertifikation

Verwüstung: Vordringen der Wüste in bisher noch von Menschen genutzte Räume auf Grund einer zu starken Nutzung der Wüstenrandgebiete durch den Menschen oder durch Veränderung des Klimas.

Desintegration

Spaltung, Auflösung eines Ganzen in seine Teile

Devastierung

Devastation Verwüstung, Verheerung

Diffusion

ohne äußere Einwirkung eintretender Ausgleich von Konzentrationsunterschieden (Chem.)

Dikotyledone

zweikeimblättrige Pflanze

Dissimilation

Abbau und Verbrauch von Körpersubstanz unter Energiegewinnung; Gegensatz zu →Assimilation

dissimilatorisch

→Dissimilation

Dissoziation

Spaltung chemischer Bindungen

Dobson-Einheit

(Dobson Units, DU) Maß für die Ozongesamtmenge über einer bestimmten Stelle der Erdoberfläche. 100 DU entsprechen einer Luftschicht von 1 mm Dicke bei Atmosphärendruck 1013 hPa und einer Temperatur von 298 K.

Einkommensdisparitäten

Einkommensungleichheit

El-Niño-Ereignis

Unregelmäßig im Abstand einiger Jahre auftretendes Phänomen, bei dem das Oberflächenwasser des Meeres vor der Küste Perus und entlang des äquatorialen Pazifiks wesentlich wärmer ist als im Jahresdurchschnitt.

Elektronenakzeptoren

Moleküle, die die bei einer chemischen Reaktion (Redoxreaktion) freigesetzten Elektronen aufnehmen

Emulgator

Mittel, das die Bildung einer →Emulsion erleichtert.

Emulsion

→kolloide Verteilung zweier nicht miteinander mischbarer Flüssigkeiten (z. B. Wasser in Öl)

Endemismus

Vorkommen von Tieren und Pflanzen in einem bestimmten begrenzten Bezirk.

Endemiten

Pflanzen- bzw. Tiergruppen, die in einem begrenzten Lebensraum vorkommen.

Enzym

ein der lebenden Zelle gebildete organische Verbindung, die den Stoffwechsel des Organismus steuert

Epidermis

Oberste Schutzschicht der Blätter und anderer Pflanzenteile

Epiphyt

Pflanze, die auf anderen Pflanzen wächst, sich aber selbständig ernährt; Überpflanze

Erdbahnparameter

Parameter, die den Verlauf der Erdbahn bestimmen, wie die →Präzession des sonnennächsten Punktes der Erdbahn, die →Inklination der Erdachse und die →Exzentrizität.

Erosion

→Bodenerosion.

Essigsäure

wichtigste Carbonsäure

Ester

organische Verbindung aus der Vereinigung von Säuren mit Alkoholen unter Abspaltung von Wasser.

Eurasien

Festland von Europa und Asien, größte zusammenhängende Landmasse der Erde.

Eutrophierung

Überdüngung, d. h. übermäßige Zufuhr von nitrat- und phosphathaltigen Nährstoffen.

Evaporation

Verdunstung von Wasser

Exkremente

Ausscheidung (Kot, Harn); hier E. der Haustiere

Exploitation

Ausbeutung, Nutzbarmachung

externe Effekte

Auswirkungen des Handelns eines Wirtschaftssubjekts (Unternehmen, Haushalte usw.) auf ein anderes, die nicht durch eine Entschädigung/Vergütung über den Markt ausgeglichen sind.

Fäkalien

die von Tieren ausgeschiedenen →Exkremente (Kot und Harn)

FAO (Food and Agricultural Organisation of the United Nations)

Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen

Fauna

Tierwelt.

Fehlallokation

den Zweck verfehlende → Allokation

Feldfutterbau

Ackerbaulicher Anbau von Pflanzen zur Verfütterung an Tiere

Fennoskandien

zusammenfassende Bezeichnung für die Länder Norwegen, Schweden und Finnland.

Fermentation

chemische Umwandlung von Stoffen durch Bakterien und → Enzyme.

Flavonoide

oder Flavone; Pflanzeninhaltsstoffe

Flora

Pflanzenwelt.

Fluorchlorkohlenwasserstoff (FCKW)

Fluor-Chlor-Kohlen-Wasserstoffe; Industriell hergestellte organische Halogenverbindungen

Formiat Methanol

Formiate, Salze und Ester der Ameisensäure
Methanol, einfachster Alkohol, der als Esterkomponente in vielen Pflanzenstoffen (z. B. im Lignin) enthalten ist.

Fossile Energieträger

In der erdgeschichtlichen Vergangenheit aus abgestorbenen Pflanzen entstandene feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe wie Kohle, Erdöl und Erdgas.

Fruchtfolge

zeitliche Aufeinanderfolge der einzelnen Kulturarten auf einem Feldstück (Schlag)

Fruchtfolgeverarmung

Reduzierung des Fruchtwechsels innerhalb einer → Fruchtfolge; führt im Extremfall zu einer Monokultur, dem alleinigen Anbau einer Nutzpflanzenart über mehrere Jahre hinweg.

Frühneolithikum

Frühe Jungsteinzeit

Fungizide

im Garten- und Weinbau verwendetes Mittel zur Bekämpfung pflanzenschädigender Pilze.

Futterleguminose

→ Leguminose

GATT (General Agreement on Tariffs and Trade)

→ Allgemeines Zoll- und Handelsabkommen.

GEF (Global Environmental Facilities)

Globale Umweltfazilität

generative Phase

die geschlechtliche Fortpflanzung betreffende Phase

Genfer Luftreinhaltekonvention**Gleye, Gleyboden**

unter Stau- oder Grundwassereinfluß stehender Bodentyp besonders in Niederungen mit einem rostfleckigem Oxidationshorizont unter dem Oberboden und einem darunter folgenden grauen, grünen bis blauschwarzen Reduktionshorizont.

Gradient

Gefälle.

GTZ

Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ)

halluzinogen

bewußtseinsverändernd, -trübend

Halogene

(griech. Salzbildner); Gruppe von Nichtmetallen, die aus den Elementen Fluor (F), Chlor (Cl), Brom (Br), Jod (J) und Astat (At) besteht.

Halone

Halone sind bromierte → Fluorchlorkohlenwasserstoffe und haben ein sehr hohes → Ozonzerstörungspotential. Halone werden vorwiegend zu Feuerlöschzwecken eingesetzt.

Hemisphäre

Halbkugel, Erdhälfte.

herbivore

pflanzenfressend

Herbizid

chemische Mittel zur Abtötung von Pflanzen

heterogen

uneinheitlich, aus Ungleichartigem zusammengesetzt.

heterotroph

auf organische Nahrung angewiesen.

homogen

gleichmäßig aufgebaut, einheitlich, aus Gleichartigem aufgebaut.

humides Klima

Landstriche mit einer jährlichen Niederschlagsmenge von über 600 l pro m².

Huminstoffe

bereits stärker abgebaute und umgewandelte, dunkel gefärbte hochmolekulare Anteile der organischen Substanz eines Bodens

Humus

gesamte organische Substanz eines Bodens (abgestorbene pflanzliche und tierische Stoffe sowie deren → mikrobielle Umwandlungsprodukte); z. T. werden auch nur die → Huminstoffe als Humus bezeichnet

Hydrologischer Zyklus

Wasserkreislauf.

Hydrolyse

Spaltung chemischer Verbindungen durch Wasser (meist unter Mitwirkung eines → Enzyms oder → Katalysators).

Hyphe

Pilzfaden; fadenförmige, oft zellig gegliederte Grundstruktur der Pilze.

IBRD (International Bank for Reconstruction and Development)

Internationale Bank für Wiederaufbau und Entwicklung

IDA (International Development Association)

Internationale Entwicklungsorganisation

indigen

eingeboren, einheimisch

Indolelessigsäure

Phytohormon; von den Pflanzen gebildeter Wuchsstoff, der v. a. das Streckungswachstum der Pflanzen fördert

Infektiosität

Ansteckungsfähigkeit

inferiore Verwertung

minderwertige Verwertung

inhomogen

nicht gleichartig

Inklination der Erdachse

Neigung der Rotationsachse der Erde zur Bahnebene um die Sonne.

Innertropische Konvergenzzone

Zone aufsteigender Luftmassen zwischen den Passatwindssystemen der beiden Hemisphären. In dieser Zone treten häufig Schauer und Gewitter auf.

Insektizide

insektentötende chemische Mittel

Integrierter Pflanzenbau (IPB)

Der IPB hat zum Ziel, ein standortspezifisch ökonomisch optimales Ertrags- und Qualitätsniveau der landw. Produkte zu erreichen und die Umwelt möglichst wenig zu belasten. Er beruht auf vielseitigen Verfahren der Ackernutzung, die die Bodenfruchtbarkeit fördern und Vorbeugemaßnahmen nicht chemischer Art einbeziehen. Dabei haben ökonomische Erfordernisse Vorrang vor ökologischen (Pommer, 1992).

Interdependenz

gegenseitige Abhängigkeit.

Internalisierung externer Effekte

Einbeziehen der externen Effekte in den Preismechanismus; damit ist gewährleistet, daß das Wirtschaftssubjekt, das die externen Effekte verursacht, die vollen Konsequenzen seines Handelns trägt.

Ion

Elektrisch positiv oder negativ geladene Moleküle oder Atome

interzellulär

luftgefüllte Hohlräume zwischen den Zellen

Interzeption

Verdunstungsverlust bei Niederschlägen durch Abgabe von Feuchtigkeit an die Außenluft, besonders im Wald.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)

Von der UNEP und der WMO eingesetztes, zwischenstaatliches Gremium, das die anthropogene Einflußnahme auf das Klima der Erde und die damit verbundenen Folgen untersucht

irreversibel

unumkehrbar

ITTO (International Tropical Timber Organisation)

Internationale Tropenholz Organisation

Joint Ventures

vorübergehender oder dauernder Zusammenschluß von Unternehmen zum Zweck der gemeinsamen Ausführung von Projekten, die von einem Unternehmen allein nicht realisiert werden können.

Katalysator

Substanz, die eine chemische Reaktion beeinflusst, ohne selbst dabei verändert zu werden. Chloratome und Chloroxid-Radikale wirken bei der Ozonzerstörung in der →Stratosphäre als Katalysatoren, d. h. sie sind in der Lage, eine große Anzahl von Ozonmolekülen zu spalten, bevor sie selbst durch eine andere Reaktion verbraucht werden.

Kation

positiv geladenes →Ion

kinetische Energie

Bewegungsenergie

Klima

Zustand der Atmosphäre über einem bestimmten Ort, charakteristisch für ein großes Zeitintervall von meist mehr als 30 Jahren.

Klimamodell

Beschreibung des →Klimas in einem mathematischen-physikalischen Computermodell.

Klimaparameter

(Interne) Klimaparameter sind die das Klima direkt charakterisierenden, physikalischen Größen, wie z. B. Strahlung, Temperatur, Niederschlag. Als externe Klimaparameter bezeichnet man die Einflußfaktoren, die zwar das Klimasystem beeinflussen aber nicht mit dem Klimasystem wechselwirken (z. B. Einstrahlung der Sonne, Vulkane, anthropogen bedingte Emission von Treibhausgasen).

Klimarelevante Spurengase

→Treibhausgase.

Klimavariation

Kurzzeitige Änderung des Klimas.

Klimax

Endzustand der Boden- und Vegetationsentwicklung in einem bestimmten Gebiet.

Kohlenhydrate

Wichtige pflanzliche Reservestoffe mit charakteristischen chemischen Eigenschaften. Zu den Kohlenhydraten gehören z. B. Stärke, Trauben- und Fruchtzucker.

Kohlendioxid (CO₂)

Farbloses, nicht brennbares schwach-säuerliches Gas. CO₂ wird von Pflanzen in der →Photosynthese unter Zuhilfenahme von Wasser und Sonnenenergie zu Kohlenhydraten umgewandelt. Bei der Verbrennung von Pflanzen oder der aus ihnen entstandenen →fossilen Energieträger wird der enthaltene Kohlenstoff wieder als CO₂ freigesetzt. CO₂ ist ein wichtiges →Treibhausgas, seine gegenwärtige Konzentration in der Atmosphäre beträgt 355 ppm.

Kohlenstoffkreislauf

Kreislauf des Kohlenstoffs in seinen verschiedenen chemischen Verbindungen zwischen der →Atmosphäre, der →Biosphäre, der Hydrosphäre und der →Lithosphäre.

Kohlenwasserstoffe

Organische Verbindungen, die aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehen. Kohlenwasserstoffe können durch den Zusatz weiterer Elemente wie z. B. →Halogene in halogenierte Kohlenwasserstoffe verändert werden.

kolloid

feinverteilt (von Stoffen)

Kondensation

Übergang von der Dampf- in die Flüssigphase. In der Meteorologie: der Übergang des Wasserdampfes der Atmosphäre in den flüssigen Zustand durch Tröpfchenbildung (Wolken, Nebel, Tau).

Kontamination

Verseuchung mit schädlichen, besonders mit radioaktiven Stoffen.

kontinentales Klima

Festlandklima, Binnenklima

Konvektion

Oft kleinräumiges Aufsteigen von Luftmassen.

konventionelle Landwirtschaft

Unter der konventionellen Landwirtschaft wird die in Mitteleuropa vorherrschende intensiv betriebene Landwirtschaft verstanden, die von hohen Erträgen bei hoher spezieller Produktionsintensität (Betriebsmitteleinsatz je Fläche bzw. je Tier) sowie starker Konzentration und Spezialisierung geprägt ist.

Konzentration von Spurengasen

In diesem Bericht wird stets das Volumen →Mischungsverhältnis von Spurengasen — wie üblich in der Physik der Atmosphäre — als Konzentration bezeichnet.

Kutikula

Äußere Schutzschicht von Pflanzen und Pflanzenteilen

latent

versteckt, verborgen, nicht offenkundig

Leguminosen

Hülsenfrüchtler; Krautige Pflanzen oder Bäume mit Hülsenfrüchten. Sie leben in →Symbiose mit stickstofffixierenden Knöllchenbakterien. Zu den Leguminosen gehören wirtschaftlich bedeutende Kulturpflanzen wie z. B. Bohnen, Erbsen, Klee, Luzerne, Erdnuß und Soja.

Lichtatmung (Photorespiration)

Innerhalb der Pflanzen bei Belichtung stattfindender Abbau von Kohlenhydraten, verbunden mit der Freisetzung von CO₂ und dem Verbrauch von Sauerstoff.

Lignine

wasserunlösliche größere Moleküle, die die Verholzung von Pflanzenzellen bewirken

Lithosphäre

Äußere Gesteinshülle des Erdkörpers.

Luftschadstoffe

In der Luft befindliche Stoffe, die sich direkt oder indirekt schädigend auf die Biosphäre auswirken, z. B. Stickoxide, Schwefeldioxid, leichtflüchtige organische Verbindungen und Ozon.

Luzerne

zur Familie der Schmetterlingsblütler (→Leguminosen) zählende wichtige Futterpflanze mit meist blauen, violetten oder gelben traubenförmigen Blüten.

Macchien

charakteristischer immergrüner Buschwald des Mittelmeergebietes.

Magnolie

frühblühender Zierbaum (aus Japan und China) mit tulpenförmigen Blüten.

Mangrovenwälder

immergrüne Laubwälder in Meeresbuchten und Flußmündungen tropischer Gebiete.

marin

- (1) zum Meer gehörend
- (2) aus dem Meer stammend, im Meer lebend

Mesophyll

Blattgewebe

Methanogene (Archae-)Bakterien

Bakterien, die sich in den Frühzeiten der Evolution entwickelt haben und in Abwesenheit von Luftsauerstoff Methan bilden können.

Methanotrophe Bakterien

Bakterien, die in der Lage sind, Methan für den eigenen Stoffwechsel/Energieversorgung zu verwerten, indem sie es zu CO₂ umsetzen.

Mikrobengesellschaft

Gesamtheit der →Mikroorganismen im Boden

mikrobielle Umwandlung

biologischer Prozeß, der nur unter dem Mikroskop sichtbar ist (→Humus)

Mikroorganismen

meist einzellige, i. a. nur im Mikroskop sichtbare pflanzliche und tierische Lebewesen; haben Bedeutung als Krankheitserreger, als →Symbionten (z. B. Knöllchenbakterien der →Leguminosen), im Stoffkreislauf der Natur und insbesondere im Boden

Mineraldünger

anorganische Dünger, die (im Gegensatz zu →organischen Wirtschaftsdüngern) industriell hergestellt oder bergmännisch abgebaut werden

Mischungsverhältnis

In der Atmosphärenforschung hat sich eingebürgert, den Spurenstoffgehalt als Mischungsverhältnis (Molenbruch) anzugeben. Hierbei wird das Volumen-Mischungsverhältnis definiert

als das Verhältnis der Moleküle eines Gases zu der Gesamtzahl aller Moleküle. Folgende Abkürzungen sind gebräuchlich:
1 ppm (1 part per million): 10⁻⁶ (ein Teil auf eine Million)
1 ppb (1 part per billion): 10⁻⁹ (ein Teil auf eine Milliarde)
1 ppt (1 part per trillion): 10⁻³ (ein Teil auf eine Billion).

Modelle

Eindimensionales (1-D) Modell — mit diesem Modell läßt sich die Gesamtsäulendichte und die Vertikalverteilung eines Spurenstoffes berechnen.

Zweidimensionales (2-D) Modell — neben der vertikalen Höhe wird hier die geographische Breite als weitere Dimension benutzt, um der breitenabhängigen Solarstrahlung Rechnung zu tragen.

Dreidimensionales (3-D) Modell — hier wird zusätzlich die geographische Länge einbezogen; 3-D-Modelle befinden sich im Hinblick auf chemische Fragestellungen erst im Entwicklungsstadium.

monogastische Haustiere

Haustiere, die nur mit einem Partner geschlechtlichen Verkehr haben.

Monokotyledonen

einkeimblättrige Pflanzen, i. a. Gräser

Monokultur

durch ein bestimmtes Produktionsziel bedingte Form der landwirtschaftlichen Bodennutzung, bei der nur eine Nutzpflanze angebaut wird.

Montrealer Protokoll

Das Montrealer Protokoll vom 16. September 1987 über Stoffe, die zu einem Abbau der →Ozonschicht führen, ist am 1. Januar 1989 in Kraft getreten. Das Montrealer Protokoll ist die erste Folgevereinbarung zum →Wiener Übereinkommen und bildet einen wichtigen Grundstein in der Umweltpolitik. In dem Protokoll werden die Produktion und der Verbrauch der wichtigsten vollhalogenierten →FCKW und bestimmter →Halone geregelt. In der zweiten Vertragsstaatenkonferenz zum Montrealer Protokoll im Juni 1990 in London wurde eine Verschärfung der Protokollregelung beschlossen.

Morphologie

äußeres Erscheinungsbild

Multilateral Fund (Multilateralfonds)

Bei der 2. Vertragsstaatenkonferenz zum Montrealer Protokoll gegründeter Fonds, mit dem Ziel, den Entwicklungsländern durch finanzielle Hilfen den Ausstieg aus ozonschichtschädigenden Stoffen zu erleichtern.

mutagene Wirkung

Das Erbgut verändernde Wirkung

Mutation

spontane oder künstlich erzeugte Veränderung im Erbgut

Mykorrhiza

→Symbiose zwischen höheren Pflanzen und Pilzen. Die Wurzeln der Bäume sind von einem dichten Pilzgeflecht umgeben. Der Wirtspflanze werden Assimilate entzogen, während die Pilze die Wasser- und Ionenversorgung der Bäume fördern

Nekrosen

örtliches Absterben von Zellen, Gewebe- oder Organanteilen als Reaktion auf äußere Einwirkungen z. B. von Schadstoffen, UV-B-Strahlung etc.

Neolithikum

Jungsteinzeit; Epoche des vorgeschichtlichen Menschen, deren Beginn meist mit dem Beginn produktiver Nahrungserzeugung (Haustiere und Kulturpflanzen) gleichgesetzt wird

Nettoprimärproduktion

Aufbau von pflanzlicher →Biomasse durch die →Photosynthese

Nichtregierungsorganisation (Non Governmental Organisation, NGO)

Sammelbegriff für nicht staatliche Organisationen, der allerdings zumeist in Bezug auf Gruppierungen der neuen sozialen Bewegungen (Ökologiebewegung, Friedensbewegung u. a.) verwendet wird.

Nitrifikation

Mikrobielle Stickstoffumwandlung, bei der aus Ammonium (NH_4) in zwei Stufen zunächst Nitrit (NO_2), dann Nitrat (NO_3) gebildet wird.

Nukleinsäure

Hochmolekulare Stoffe, die in pflanzl. und tier. Zellen vor allem als DNA (Desoxyribonukleinsäure) oder RNA (Ribonukleinsäure) vorkommen und bei der Übertragung der Erbinformation eine entscheidende Rolle spielen

OECD (Organization for Economic Cooperation and Development)

Organisation für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung

Ökosystem

aus Organismen und unbelebter Umwelt bestehende natürliche Einheit, die durch deren Wechselwirkung ein gleichbleibendes System bildet

Organelle

Organ eines Einzellers

oxisch

sauerstoffhaltig, unter Anwesenheit von Sauerstoff

Oxidation

chemische Reaktion eines Stoffes mit Sauerstoff

Ozon

(griech. das Riechende). Aus drei Sauerstoffatomen bestehendes Molekül; chemisches Zeichen O_3 . Die Hauptmenge des atmosphärischen Ozons befindet sich in der → Stratosphäre zwischen zwölf und vierzig Kilometer und wird hier durch photolytische Spaltung von Sauerstoff (O_2) gebildet. Die Ozonmenge in der Troposphäre repräsentiert etwa ein Zehntel der Ozongesamtsäule. Die Hauptquelle ist hier die photochemische Bildung durch → Kohlenwasserstoffe und → Stickoxide auf Grund der Smog-Mechanismen.

Während Ozon in der → Troposphäre stark negative Auswirkungen hat (giftig für Tiere, Menschen und Pflanzen; Verstärkung des Treibhauseffektes), wirkt das Ozon in der → Stratosphäre als lebensnotwendiger UV-B-Filter.

Ozonloch

1985 wurde entdeckt, daß seit 1977 über der Antarktis während der Monate September und Oktober drastische Abnahmen der Ozonkonzentration stattfinden. Mittlerweile steht fest, daß das jährlich wiederkehrende Ozonloch durch industriell hergestellte → Fluorchlorkohlenwasserstoffe verursacht wird.

Ozonschicht

Schicht in der → Stratosphäre in der der größte Teil des atmosphärischen Ozons enthalten ist. Sie liegt etwa zwischen 15 und 30 Kilometer Höhe.

In der Ozonschicht wird die energiereiche UV-B-Strahlung absorbiert und in Wärme umgewandelt. Verringerung der Ozongesamtsäulendichte haben Intensitätszunahmen der zellschädigenden UV-B-Strahlung am Erdboden zur Folge. Des weiteren kann die Änderung der Ozonschicht zu einer Beeinflussung des → Klimas führen. Durch industriell hergestellte → FCKW wird die Ozonschicht in zunehmendem Maße zerstört.

Ozonzerstörungspotential

Maß für die relative Ozonwirksamkeit chlor- und bromhaltiger Verbindungen. FCKW 11 ist dabei als Bezugsgröße gewählt und mit dem Wert 1 festgesetzt.

Pansen

Teil des Wiederkäuermagens

Pathotypen

verschiedene Typen (Varietäten) eines Krankheitserregers

Pedosphäre

Bodenzone; Grenzbereich der Erdoberfläche, in dem sich Gestein, Wasser, Luft und Lebewesen durchdringen und in der die bodenbildenden Prozesse stattfinden.

Pestizid

Mittel zur Vernichtung von pflanzlichen und tierischen Schädlingen und Krankheitserregern aller Art

pH-Wert

Logarithmisches Maß für den Säuregehalt bzw. den Wasserstoff (H^+)-Ionen-Gehalt einer Flüssigkeit bzw. Lösung. Je niedriger der pH-Wert ist, um so größer ist die Konzentration von H^+ -Ionen oder um so saurer ist eine Lösung. Beträgt der pH-Wert 7, so ist eine Lösung chemisch neutral, ist er geringer, so ist sie sauer, ist er höher, so ist sie basisch, bei $\text{pH} = 6$ ist die Konzentration von H^+ -Ionen zehnmal höher als bei $\text{pH} = 7$.

Phenole

Oxybenzole, wichtige organische Verbindungen im Teer.

Phosphoenolpyruvat

Kohlenhydrat mit vier Kohlenstoffatomen, an das bei → C_4 -Pflanzen das CO_2 angelagert wird, bevor es der → Photosynthese zugeführt wird

photochemisch

Unter Einwirkung von UV-Strahlung ablaufende chemische Reaktion.

Photolyse

Zersetzung von Molekülen durch Absorption von elektromagnetischer Strahlung.

Photooxidation

→ photochemische hervorgerufene → Oxidation

Photoperiodismus (photoperiodische Steuerungsvorgänge)

durch die Tageslänge bzw. den Wechsel von Licht- und Dunkelphasen ausgelöste Reaktionen von Pflanzen, die deren Entwicklung steuern (v.a. den Übergang von der Wachstumsphase zur Reifephase (Blütenbildung))

Photorespiration

→ Lichtatmung

Photosmog

unter Einwirkung von Sonnenstrahlung ablaufende Bildung von Ozon und giftigen Stickstoffverbindungen aus verschiedenen Vorläufersubstanzen (v.a. Stickstoffoxiden)

Photosynthese

Der Aufbau von Kohlenhydraten durch grüne Pflanzen aus Kohlendioxid und Wasser mit Hilfe des Sonnenlichts (→ Photosynthese).

Physiognomie

die äußere Erscheinung eines Lebewesen.

Physiologie

Wissenschaft von den Grundlagen des allgemeinen Lebensgeschehens.

physiologisch

die → Physiologie betreffend, die Lebensvorgänge im Organismus betreffend.

Phytohormone

pflanzliches → Hormon.

Phytomasse

→ Biomasse lebender, im weiteren Sinne auch toter Pflanzen

Phytotoxische Stoffe

Stoffe, die giftig bzw. schädigend für Pflanzen sind.

Pigment

in Pflanzenzellen oder den Zellen der Haut eingelagerter, die Färbung der Gewebe bestimmender Farbstoff.

Pilzsporen

Fortpflanzungsorgane der Pilze

Plastide

Gesamtheit der →Chromatophoren und Leukoplasten der Pflanzenzelle.

Plattentektonik

auch Großschollentektonik, wissenschaftliche Hypothese zur Erklärung der Großtektonik, die vor allem auf geophysikalischen und geologischen Untersuchungen im ozeanischen Bereich fußt. Danach besteht die Lithosphäre aus sechs großen mehr oder weniger starren Platten zwischen die kleinere Platten eingeschaltet sind, die sich auf der Asthenosphäre (Fließzone des oberen Erdmantels) bewegen. Wo diese Platten auseinanderdriften, entstehen Dehnungsfugen, in denen aufsteigende vulkanische Schmelzen untermeerische Schwellen bilden, deren Umgebung sich durch hohe Erdbebenaktivität (Seismizität) und starke Wärmestrahlung auszeichnet. Zugleich wird ständig neue ozeanische Kruste gebildet, die sich symmetrisch nach beiden Seiten ausbreitet. Dort, wo sich die Platten aufeinander zu bewegen, werden durch Unterschiebung der einen unter die andere Platte die überlagernden Sedimente gestaucht und zu Kettengebirgen oder Inselbögen aufgefaltet.

Plenterwald

→Dauerwald

Podsol

graue bis weiße Bleicherde (durch Mineralsalzverlust verarmter, holzaschefarbener, unter Nadel- und Mischwäldern vorkommender Oberboden in feuchten Klimabereichen); typische Böden der kaltgemäßigten Klimate der nördlichen Breiten

Podsolierung

der Prozeß durch den ein →Podsol entsteht.

Pollensterilität

Unfruchtbarkeit der männlichen Samen bei Pflanzen

postglazial

nacheiszeitlich

Primärenergie

Unter Primärenergie versteht man die Rohstoffe zur Energiegewinnung, d. h. Primärenergieträger sind alle Energieträger, die natürlich vorkommen, z. B. die →fossilen Brennstoffe Steinkohle, Braunkohle, Erdöl, Erdgas, Ölschiefer, Teersande oder die Kernbrennstoffe Uran, Torium oder die →erneuerbaren Energiequellen, z. B. Wasserkraft, Windkraft, Sonne, Erdwärme, Biomasse.

Primärwald

Urwald; im strengsten Sinne ein →autochthoner Waldbestand, dessen Entwicklung nicht oder nur so wenig vom Menschen beeinflusst wurde, daß seine Physiognomie von der natürlichen Umwelt geformt und bestimmt wird.

Propan

gesättigter Kohlenwasserstoff, der besonders als Brenngas verwendet wird.

Propen

= →Propylen

Propionsäure

Propansäure, stechend riechende Carbonsäure, die unter anderem im Pansen von Wiederkäuern vorkommt.

Propylen

gasförmiger, ungesättigter Kohlenwasserstoff, technisch wichtiger Ausgangsstoff für andere Stoffe.

Protein

nur aus →Aminosäuren aufgebauter einfacher Eiweißkörper

Protoplast

Zelleib der Pflanzenzelle mit Zellkern, Zellplasma und →Plastiden (im Gegensatz zur unbelebten Zellwand).

Pseudomonas

Gattung geißeltragender Bakterien mit einigen Arten, die als Krankheitserreger in Fägen kommen.

Pyro-Denitrifikation

→Denitrifikation

radioaktiv

durch Kernzerfall oder -umwandlung bestimmte Elementarteilchen aussendend.

Redoxpotential

[Kurzwort aus: Reduktions-Qxydations-Potential] Potential, bei dem ein Stoff oxydiert (→Oxydation) und ein zweiter gleichzeitig reduziert (→Reduktion) wird.

Reduktion

Entzug von Sauerstoff aus einer chemischen Verbindung oder Einführung von Wasserstoff in eine chemische Verbindung.

Redwood

Rotholz eines kalifornischen Mammutbaumes.

Referenzmodell

als Vergleichsmaßstab herangezogenes Modell.

Respiration (Atmung)

Vorgänge im Stoffwechsel von Pflanzen und Tieren, bei denen zur Bereitstellung von Energie i. A. Kohlenhydrate unter Verbrauch von Sauerstoff oxidativ zu CO₂ abgebaut werden.

Ressourcen

Ressourcen sind einer weiten Begriffsdefinition folgend alle Bestände der Produktionsfaktoren Arbeit, Boden und Kapital, die bei der Produktion von Gütern eingesetzt werden können. Im engeren Sinn werden unter Ressourcen Rohstoffe und Energieträger verstanden, wobei zwischen regenerierbaren und nichtregenerierbaren Ressourcen unterschieden wird. Dem Bericht liegt die engere Begriffsbildung zugrunde.

rezent

gegenwärtig gebildet bzw. noch lebend (von Tier- und Pflanzenarten).

Rhizosphäre

die von Pflanzenwurzeln durchsetzte Bodenschicht.

Ribulose-bi-Phosphat

Kohlenhydrat mit fünf Kohlenstoffatomen, das in der Photosynthese (im Calvin-Zyklus) das CO₂ einbindet und dabei sofort in zwei C₃-Körper zerfällt.

Rottemist

Stallmist, der während seiner Lagerung außerhalb des Stalles einen mehrere Monate dauernden Rotteprozeß (mikrobielle Umwandlung) mit einem Substanzverlust bzw. Kohlenstoffverlust und der Bildung von Humusstoffen und anderen wertvollen Abbauprodukten erfährt

Salpetersäure

wichtigste Sauerstoffsäure des Stickstoffs; in reinem Zustand farblose, stechend riechende Flüssigkeit.

Säure

chemische Verbindung, die beim Lösen in Wasser infolge Dissoziation als Kationen ausschließlich H⁺-Ionen bildet (Wasserstoffionenkonzentration). Die Lösungen schmecken sauer und verändern die Farbe von Indikatorfarbstoffen. Die Säurestärke ist abhängig von der Dissoziation der Verbindung. Zu den stärksten Säuren mit Dissoziationsgraden von fast 100 % gehören die Mineralsäuren (Salz-, Salpeter- und Schwefelsäure).

Savanne

Vegetationsform der →semi-ariden Tropen, bei der Grasfluren von einzelnen Bäumen oder Bauminseln durchsetzt sind. Mit zunehmender Feuchte verdichten sich die Gehölze und gehen über in eine Waldformation.

Schädlingskalamitäten

durch vermehrt auftretende Schädlinge hervorgerufener schwerer Schaden an Pflanzen.

Schwefeldioxid (SO₂)

Farbloses, stechend riechendes Schadgas, das überwiegend bei der Verbrennung schwefelhaltiger Energieträger (Kohle, Erdöl) und in geringerem Umfang bei industriellen Prozessen entsteht (→Saurer Niederschlag).

Sediment

durch Sedimentation entstandenes Schicht- oder Absatzgestein.

Sedimentation

Ablagerung von Stoffen, die an anderen Stellen abgetragen wurden.

Sekundärenergie

Sekundärenergieträger sind alle Energieträger, die als Ergebnis eines Umwandlungsprozesses (z. B. in Raffinerien oder Kraftwerken) aus → Primärenergieträgern entstehen, z. B.: die Kohleprodukte Koks und Briketts, die Mineralölprodukte Benzin und Heizöl, die Gasprodukte Stadtgas und Raffineriegas sowie elektrischer Strom und Fernwärme.

Sekundärwald

der aus dem → Primärwald durch menschlichen Eingriff entstandene Wald.

Semi-arid

Halbtrockenes Klima mit drei bis sechs feuchten Monaten.

Seneszenz

Alterungsprozeß und die dadurch bedingten → morphologischen Veränderungen; Hier: das teilweise Absterben von Pflanzenteilen

Sensitivitätsabschätzung

Hier: Abschätzung der Wirkungsweise verschiedener, das Klima beeinflussender Faktoren.

Shifting Cultivation

→ Wanderfeldbau

Source-Sink-Mißverhältnis

Mißverhältnis im Assimilathaushalt der Pflanzen; Hier: Überhöhte Bildung von → Assimilaten (Quelle=Source), die bei gleichbleibendem oder sinkendem Verbrauch (Einbau/Umbau) von Assimilaten (Senke=Sink) zu einem Assimilatstau und zur Beeinträchtigung des Pflanzenwachstums bzw. der → Photosynthese führt

Sporen

Fortpflanzungsorgane, v.a. bei Farnen und Pilzen

Spurengase

Gase, die nur in Spuren in der Atmosphäre vorkommen, z. B. CO₂, N₂O, CH₄, FCKW.

Stärke

im Pflanzenreich weitverbreitetes Kohlenhydrat, das durch Photosynthese über Glucose gebildet wird. Die Hauptbestandteile sind die Polysaccharide Amylose (Mais: 23 %, Kartoffel: 18 %) und Amylopektin (Mais 77 %, Kartoffel: 82 %). Beide Hauptbestandteile können durch Enzyme, Säuren oder Wärme abgebaut werden.

Stickoxide

NO_x wird fast ausschließlich in Form von NO an die Atmosphäre abgegeben. Da sich sehr schnell ein photochemisches Gleichgewicht zwischen NO und NO₂ einstellt, spricht man im allgemeinen von NO_x als der Summe von NO und NO₂. NO_x entsteht bei Verbrennungsprozessen mit hohen Temperaturen — vor allem durch Kraftfahrzeuge und Kraftwerke (→ Saurer Niederschlag, → Ozon).

Stomata

Spaltöffnungen der Blätter, über die der Gasaustausch der Pflanzen mit der Umgebungsluft erfolgt

Strahlungshaushalt

Differenz zwischen aufgenommener und abgegebener Strahlung (z. B. Licht, Wärme).

Stratifikation

Hier: Kältebehandlung von Saatgut zur Auslösung einer Keimstimmung

Stratopause

→ Atmosphäre.

Stratosphäre

Schicht in der → Atmosphäre, die oberhalb der Tropopause bzw. → Troposphäre beginnt und bis in etwa 50 km Höhe reicht. In der Stratosphäre befindet sich die → Ozonschicht.

subpolar

zwischen den Polen und den gemäßigten Breiten gelegen.

Subsistenzwirtschaft

vorwiegend auf Selbstversorgung ausgerichtete meist kleinbäuerliche Landwirtschaft

Subtropen

Gebiete des thermischen Übergangs von den Tropen zu den gemäßigten Breiten.

Sukzession

Durch äußere Einflüsse verursachtes Übergehen einer Pflanzengesellschaft in eine andere am gleichen Standort.

Symbiose

Zusammenleben von Lebewesen verschiedener Art zu gegenseitigen Nutzen.

symbiotisch

in → Symbiose lebend

Synergie

Zusammenwirken; „Das Gesamte hat eine andere Qualität als die Summe der Einzelteile“.

synthetisch

Hier: industriell hergestellt im Gegensatz zu natürlich vorkommend

Szenario

Ermittlung eines möglichen Zustandes unter der Annahme bestimmter Bedingungen. Die Ergebnisse sind unabhängig von den Randbedingungen der Szenarien und unterscheiden sich daher von Prognosen.

Technische Zusammenarbeit (TZ)

Die Technische Zusammenarbeit — auch Technische Hilfe genannt — zielt auf die Steigerung des Leistungsvermögens von Menschen und Institutionen in den Entwicklungsländern ab. Im einzelnen geht es dabei um die Entsendung von Fachkräften, die Bereitstellung von Zuschüssen, Material und Ausbildungsmöglichkeiten. Diese Leistungen werden in der Regel unentgeltlich gewährt. Das Entwicklungsland übernimmt dabei aber meist die im Land selbst anfallenden laufenden Kosten.

Teilhaletgenierte FCKW

→ Fluorchlorkohlenwasserstoff.

Terms of trade

Dieser Begriff bezeichnet das Verhältnis der Ausfuhrpreise zu den Einfuhrpreisen jeweils in der Währung des betreffenden Landes ausgedrückt. Steigen die Ausfuhrpreise bei konstanten oder sinkenden Einfuhrpreisen oder sinken die Einfuhrpreise bei konstanten Ausfuhrpreisen, verbessern sich die Terms of Trade, weil für die gleiche Exportgütermenge mehr Importgüter eingeführt werden können.

Terpen

organische Verbindung (Hauptbestandteil der ätherischen Öle).

terrestrisch

land-; an Land vorkommend.

Tertiär

Erdzeitalter, das vor etwa 65 Mio. Jahren begann und vor etwa 1,8 Mio. Jahren endete

TFAP (Tropical Forestry Action Plan)

Tropenwald-Aktionsplan

thermohalin

Temperatur- und Salzgehalt von Meerwasser betreffend.

Tiefstallhaltung

Tierhaltungssystem, bei dem die Exkremente der Tiere zusammen mit der Stroheinstreu mehrere Monate im Stall verbleiben

toxisch

giftig, auf einer Vergiftung beruhend.

Transpiration

Hier: Verdunstung von Wasser aus den Spaltöffnungen der Pflanzen.

Treibhauseffekt

Der Treibhauseffekt wird von Gasen in der Atmosphäre hervorgerufen, die die kurzweilige Sonnenstrahlung nahezu ungehindert durch die Atmosphäre zur Erdoberfläche passieren lassen, die langweilige Wärmestrahlung der Erdoberfläche und der Atmosphäre hingegen stark absorbieren. Aufgrund der wärmeisolierenden Wirkung dieser Spurengase ist die Temperatur in Bodennähe um etwa 30°C höher als die Strahlungstemperatur des Systems Erde- Atmosphäre ohne diese Gase (natürlicher Treibhauseffekt). Wegen des Anstiegs menschlich bedingter Spurengase wird mit einer Verstärkung des Treibhauseffektes, die mit →zusätzlicher Treibhauseffekt bezeichnet wird, und einer Temperaturerhöhung gerechnet.

Treibhausgas

Gas in der Atmosphäre, das am Treibhauseffekt beteiligt ist (Wasserdampf, CO₂, N₂O, CH₄, O₃, FCKW).

Trockenstreß

vorübergehender oder anhaltender Wassermangel der Pflanzen, der deren Wachstum, Ertrag und/oder Widerstandskraft beeinträchtigt

Tropopause

→Atmosphäre.

Troposphäre

Unterste Schicht der →Atmosphäre bis zur Tropopause (Grenzschicht) in 8–17 km Höhe. In der Troposphäre finden alle wesentlichen Wettervorgänge statt.

Tundra

baumlose Kältesteppe jenseits der arktischen Waldgrenze.

Turgor

Druck des Zellsaftes auf die Pflanzenzellwand (Innendruck der Pflanzenzellen).

Ultraviolettstrahlung

Abkürzung „UV“; Elektromagnetische Energie mit höheren Frequenzen bzw. kürzeren Wellenlängen (unter 400 nm) als sichtbares Licht; die UV-Strahlung unterteilt sich in drei Bereiche: UV-A (320–400 nm), UV-B (280–320 nm) und UV-C (40–290 nm).

UNDP (United Nations Development Programme)

Entwicklungsprogramm der Vereinten Nationen

UN-ECE (UN-Commission for Economic Cooperation in Europe)

UN-Kommission für wirtschaftliche Zusammenarbeit in Europa

UNEP (United Nations Environmental Programme)

Umweltprogramm der Vereinten Nationen

UN (United Nations)

Vereinte Nationen

UV-B-Strahlung

→Ultraviolettstrahlung

Validation

Überprüfung der Gültigkeit (z. B. bei Klimamodellergebnissen).

Veredelung

Fertigungstechnik: unscharfe Bezeichnung für die Wertmehrung eines Gegenstandes durch Überführung von einem Roh- oder Zwischenzustand in einen Fertigzustand durch eine relativ geringfügige Veränderung, die nicht zu einer völligen Stoffumwandlung führt.

Vergärung

Umbau/Abbau von Biomasse unter Abwesenheit von Sauerstoff (anaerob), wobei Methan (CH₄) statt

Versauerung des Bodens

→Bodenversauerung (→pH-Wert)

Verweilzeit

Mittlere Lebenszeit eines Gases in der Atmosphäre.

vollhalogenierte Kohlenwasserstoffe

→Fluorchlorkohlenwasserstoffe

Vulkaneruption

Vulkanausbruch

Walddegradation

→Degradation

Walddevastation

→Devastation

Wanderfeldbau

Form der Landwirtschaft, bei der in bestimmten Zeitabständen ein neues Stück Wald gerodet/brandgerodet wird, um landwirtschaftliche Nutzpflanzen anzupflanzen. Die ist erforderlich, da die Böden der neugewonnenen Nutzfläche sehr schnell verarmen und die Erträge sinken. Diese Art der Landbewirtschaftung wird in den tropischen Wäldern häufig praktiziert. Dabei wachsen nach der landwirtschaftlichen Nutzung auf den Feldern allgemein wieder (Sekundär-)Wälder nach, die nach mehreren (meist 12–20) Jahren wieder gerodet werden, um hier erneut landwirtschaftliche Nutzpflanzen anzupflanzen.

Wassererosion

→Bodenerosion durch Einwirkung von Wasser/Niederschlägen

Wellenlänge

bei Wellen der Abstand zweier aufeinanderfolgender Orte gleicher Phase auf derselben Wellennormalen. Bei konstanter Phasengeschwindigkeit c_{ph} ist die Wellenlänge um so kleiner, je höher die Frequenz der Welle ist.

Weltbank

→Internationale Bank für Wiederaufbau und Entwicklung (IBRD)

WMO (World Meteorological Organization)

Weltorganisation für Meteorologie

Winderosion

→Bodenerosion

Wirtschaftsdünger

wirtschaftseigene organische Düngemittel, meist Tierexkremente (Stallmist/Gülle/Jauche etc.), Pflanzenabfälle (Ernterückstände, Stroh, Wurzeln etc.) oder Gründüngungspflanzen (die zur Düngung und Bodenverbesserung angebaut und in den Boden eingearbeitet werden)

Wurzelexsudate

Ausscheidungen der Wurzeln

Zellmembran

→Protoplast einer Zelle

Zellulose

→Cellulose

Zoosporen

bewegliche Fortpflanzungsorgane verschiedener Algen und niederer Pilze

Zwischenfruchtbau

i. a. Anbau von Gründüngungspflanzen (→Wirtschaftsdünger) oder Futterpflanzen zwischen zwei Hauptfrüchten bzw. in dem Zeitraum zwischen zwei Vegetationsperioden (über Winter), in dem der Acker sonst brach (ungenutzt) bleiben würde

2. Einheiten und chemische Formeln

Chemische Formeln

Al_2O_3	Aluminiumoxid
CCl_3F	FCKW 11
CCl_2F_2	FCKW 12
CClF_3	FCKW 13
$\text{C}_2\text{Cl}_2\text{F}_4$	FCKW 114
$\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$	FCKW 113
C_2ClF_5	FCKW 115
CHClF_2	Chlordifluormethan (H-FCKW 22)
CF_2BrCl	Halon 1211
$\text{C}_2\text{F}_4\text{Br}_2$	Halon 1301
CBrF_3	Halon 2402
CCl_4	Tetrachlorkohlenstoff
CH_3CCl_3	Methylchloroform
CH_3Cl	Methylchlorid
CH_3Br	Methylbromid
ClO	Chlormonoxid
BrO	Bromoxid
HF	Fluorwasserstoff
CO_2	Kohlendioxid
CH_4	Methan
N_2O	Distickstoffoxid
OH	Hydroxylradikal
O^*	angeregtes Sauerstoffatom
CO	Kohlenmonoxid
H_2SO_4	Schwefelsäure
HNO_3	Salpetersäure
HCl	Salzsäure
SO_2	Schwefeldioxid
SO_4^{--}	Sulfat
NO	Stickstoffmonoxid
NO_2	Stickstoffdioxid
NO_2^-	Nitrit
NO_3^-	Nitrat
NH_3	Ammoniak
NH_4^+	Ammonium
C_xH_y	Kohlenwasserstoff
^{16}O bzw. ^{18}O	Sauerstoffisotop mit dem Molekulargewicht
Si_2O_2	Siliciumoxid
Mg	Magnesium
MgO	Magnesiumoxid
O	atomarer Sauerstoff
O_2	molekularer Sauerstoff
N	atomarer Stickstoff
N_2	molekularer Stickstoff
H	Wasserstoff
Cl	Chlor

Cl ₂	molekulares Chlor
Br	Brom
F	Fluor
Ca	Calcium
Zn	Zink

Vorsätze und Vorsatzzeichen-Erklärungen

Piko	p	10 ⁻¹²	Billionstel
Nano	n	10 ⁻⁹	Milliardenstel
Mikro	μ	10 ⁻⁶	Millionstel
Milli	m	10 ⁻³	Tausendstel
Kilo	k	10 ³	Tausend
Mega	M	10 ⁶	Million
Giga	G	10 ⁹	Milliarde
Tera	T	10 ¹²	Billion
Peta	P	10 ¹⁵	Billiarde
Exa	E	10 ¹⁸	Trillion

Maße und Einheiten

(a) basierend auf dem internationalen Einheitensystem SI-System International d'Unités (Auswahl)

Meter	m	für die Länge
Sekunde	s	für die Zeit
Kilogramm	kg	für die Masse
Kelvin	K	für die thermodynamische Temperatur
Hertz	(1 Hz = 1 s ⁻¹)	für die Frequenz

abgeleitete Einheiten

Newton	(1 N = 1 kg ms ⁻²)	für die Kraft
Pascal	(1 Pa = 1 N m ⁻²)	für den Druck ¹⁾ bzw. für die Spannung
Joule	(1 J = 1 N m)	für die Arbeit, die Energie und die Wärmemenge
Watt	(1 W = 1 J s ⁻¹)	für die Leistung

sowie:

1 m ²	für die Flächeneinheit
1 m ³	für die Raumeinheit (Volumen)
1 ms ⁻¹	für die Geschwindigkeit
1 ms ⁻²	für die Beschleunigung
1 kg m ⁻³	für die Dichte
1 m ³ kg ⁻¹	für das spezifische Volumen

(b) Nicht-SI-Einheiten (Auswahl)

°C	Grad Celsius (0°C entspricht ungefähr 273 K) Temperaturdifferenzen werden z. T. auch in °C (=K) angegeben. Die korrekte Angabe wäre „Grad Celsius“
ppm	Mischungsverhältnis: 10 ⁻⁶ = 1 Teil auf eine Million
ppb	Mischungsverhältnis: 10 ⁻⁹ = 1 Teil auf eine Milliarde
ppt	Mischungsverhältnis: 10 ⁻¹² = 1 Teil auf eine Billion
BP	(bp) englisch: years before present
t C	Tonnen Kohlenstoff 1 t C = 3,7 t CO ₂
t N	Tonnen Stickstoff 1 t N = 3,14 t N ₂ O

¹⁾ Im Wetterdienst darf auch noch 1 mbar = 10² Pa als Druckeinheit Verwendung finden

Energieeinheiten, Vorsätze, Vorsatzzeichen und Umrechnungsfaktoren

verbindliche Einheit: Joule (J)²⁾ 1 Joule (J) = 1 Newtonmeter (Nm) = 1 Wattsekunde (Ws)

gebräuchliche Energieeinheiten:

1 Terawattstunde	= 1 TWh	= 1×10^9 kWh = 3,6 PJ
1 Terawattstunde	= 1 TWh	= 0,123 Mio. t SKE
1 Million Tonnen Steinkohleneinheiten	= 1 Mio. t SKE	= 29,308 PJ = 8,15 TWh
1 Exajoule	= 1 EJ = 1000 PJ	= 278 TWh

Vorsätze und Vorsatzzeichen

Kilo	k	10^3	Tausend
Mega	M	10^6	Million
Giga	G	10^9	Milliarde
Tera	T	10^{12}	Billion
Peta	P	10^{15}	Billiarde
Exa	E	10^{18}	Trillion

Umrechnungsfaktoren

Einheit	kJ	kWh	kg SKE
1 kJ	—	0,000278	0,000034
1 kWh	3600	—	0,123
1 kg SKE	29308	8,14	—

²⁾ Für die Bundesrepublik Deutschland gilt ab 1. Januar 1978 als gesetzliche Einheit für Energie verbindlich das Joule. Die Kalorie (cal) und davon abgeleitete Einheiten wie Steinkohleneinheiten (SKE) und Rohöleinheiten (RÖE) (1 SKE = 0,7 RÖE) können für eine Übergangszeit nur noch hilfsweise zusätzlich verwendet werden

