

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	V
<b>Zusammensetzung der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“</b> .....	IX
<b>Abschnitt A</b>	
<b>Klimaänderung und Ozon</b> .....	1
<b>1. Anthropogene Klimabeeinflussung — Die Rolle der Landwirtschaft und der Wälder</b> .....	1
1.1 Charakteristika unseres Klimasystems .....	1
1.2 Eingriffe des Menschen in das Klimasystem durch Nutzung der Landoberflächen .....	4
1.3 Klimarelevante Spurengase — Der anthropogene Treibhauseffekt .....	6
1.3.1 Volumenanteile und Treibhauspotentiale .....	7
1.3.2 Ursachen und Verursacher — klimarelevante Emissionen im Landwirtschafts- und Waldbereich ...	10
1.3.3 Der CO <sub>2</sub> -Kreislauf .....	12
1.4 Klimavorhersage .....	15
1.5 Erkennbare Klimaänderungstendenzen .....	16
1.6 Quintessenz .....	21
<b>2. Veränderung des Ozongehaltes durch den Menschen</b> .....	22
2.1 Grundlagen: Ozonbildung, -transporte und mittlere Trends .....	22
2.2 Auswirkungen der anthropogen bedingten Änderung des Ozongehaltes .....	25
2.3 Stratosphärischer Ozonabbau .....	27
2.4 Troposphärische Ozonzunahme .....	32
2.5 Ozonrelevante Emissionen im Landwirtschafts- und Waldbereich .....	35
<b>3. Literaturverzeichnis zu Abschnitt A</b> .....	36

## Abschnitt B

<b>Klimaänderung und Landwirtschaft</b> .....	39
<b>Zusammenfassung und zentrale Empfehlungen</b> ....	39
<b>1. Bedeutung der Landwirtschaft</b> .....	45
1.1 Ökonomische Bedeutung der Landwirtschaft .....	48
1.1.1 Landwirtschaftliche Flächennutzung in der Bundesrepublik Deutschland .....	48
1.1.2 Formen und Intensitätsstufen der landwirtschaftlichen Produktion .....	49
1.1.3 Strukturwandel in der Landwirtschaft .....	57
1.1.4 Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik im Jahr 1992 ..	78
1.1.4.1 Maßnahmen der Agrarreform .....	78
1.1.4.2 Auswirkungen der Agrarreform .....	83
1.1.5 Blick auf die internationale Landwirtschaft .....	87
1.2 Ökologische Bedeutung der Landwirtschaft .....	89
1.2.1 Negative Wirkungen der Landwirtschaft auf die Umwelt .....	89
1.2.2 Positive Wirkungen der Landwirtschaft auf die Umwelt .....	91
<b>2. Beitrag der Landwirtschaft zur Emission     klimawirksamer Spurengase</b> .....	92
2.1 Methan (CH <sub>4</sub> ) .....	93
2.1.1 Methankreislauf .....	95
2.1.2 Methanemissionen bei der Tierhaltung .....	98
2.1.3 Methanemissionen aus tierischen Exkrementen .....	104
2.1.4 Naßreisanaubau .....	109
2.1.5 Biomasseverbrennung .....	117
2.1.6 Indirekte Einflüsse der Landwirtschaft auf die Methanemission aus anderen Ökosystemen .....	119
2.2 Distickstoffoxid (N <sub>2</sub> O) .....	120
2.2.1 Stickstoffkreislauf .....	122
2.2.2 Mikrobiologische Prozesse .....	125
2.2.2.1 Nitrifikation .....	125
2.2.2.2 Denitrifikation .....	127
2.2.3 Distickstoffoxidemissionen .....	129
2.2.3.1 Düngung .....	129
2.2.3.2 Biomasseverbrennung .....	152

2.2.3.3	Indirekte Einflüsse der Landwirtschaft auf die Distickstoffoxidemissionen aus anderen Ökosystemen .....	152
2.3	Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> ) .....	153
2.3.1	Kohlendioxidkreislauf .....	153
2.3.2	Landnutzungsänderungen .....	154
2.3.2.1	Ausmaß der Landnutzungsänderungen .....	154
2.3.2.2	Kohlendioxidemissionen .....	161
2.3.3	Degradation der Böden .....	163
2.3.3.1	Humusabbau, Bodenerosion und Bodendegradation ..	164
2.3.3.2	Kohlendioxidemissionen .....	173
2.3.4	Verbrauch fossiler Energieträger .....	173
2.3.4.1	Energieeinsatz .....	174
2.3.4.2	Kohlendioxidemissionen .....	186
2.4	Indirekt klimawirksame Spurengase .....	186
2.4.1	Ammoniak (NH <sub>3</sub> ) .....	187
2.4.2	Kohlenmonoxid (CO) .....	193
2.4.3	Stickstoffoxide (NO <sub>x</sub> ) .....	193
2.4.4	Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (NMHC) .....	194
2.4.5	Gasförmige Schwefelverbindungen .....	195
<b>3.</b>	<b>Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Landwirtschaft .....</b>	<b>197</b>
3.1	Auswirkungen auf den Pflanzenanbau .....	198
3.1.1	Wirkungen von klimatischen Faktoren auf Pflanzen ..	198
3.1.1.1	Strahlung .....	198
3.1.1.2	Temperatur .....	199
3.1.1.3	Niederschlag .....	204
3.1.1.4	Wind .....	204
3.1.2	Wirkungen der Zunahme atmosphärischer Spurengase auf Pflanzen .....	205
3.1.2.1	Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> ) .....	205
3.1.2.2	Troposphärisches Ozon .....	213
3.1.3	Wirkungen der UV-B-Strahlung auf Pflanzen .....	218
3.1.4	Wirkungen von klimatischen Faktoren auf Böden ....	222
3.1.5	Wirkungen auf die Produktqualität .....	224
3.1.6	Auswirkungen auf die Produktionstechnik .....	225
3.2	Auswirkungen auf die Tierhaltung .....	232
3.3	Auswirkungen auf die Welternährung .....	233
3.3.1	Quantitative Abschätzung von Ertragsveränderungen	233
3.3.2	Derzeitiger Stand und weitere Entwicklung der Welternährung .....	237

<b>4.</b>	<b>Handlungsoptionen und Potentiale zur Verringerung des Beitrages der Landwirtschaft zur Emission klimawirksamer Spurengase .....</b>	<b>247</b>
4.1	Derzeitige Situation der Weltlandwirtschaft .....	249
4.1.1	Intensivlandwirtschaft in Europa .....	249
4.1.2	Landwirtschaft in den Entwicklungsländern .....	248
4.1.3	Globale Umweltprobleme durch nicht nachhaltige Landbewirtschaftung .....	248
4.1.4	Drohende Gefahren durch die Klimaänderung .....	249
4.1.5	Konsequenzen für die Ernährung der Weltbevölkerung .....	250
4.1.6	Zielsetzung für die künftige globale Landbewirtschaftung .....	251
4.1.7	Politische Grundlagen zur globalen Umsetzung einer nachhaltigen Landbewirtschaftung .....	252
4.1.8	Definition einer nachhaltigen Landbewirtschaftung ..	255
4.2	Handlungsoptionen auf nationaler und europäischer Ebene .....	256
4.2.1	Maßnahmen zur Reduzierung von Methanemissionen (CH <sub>4</sub> ) .....	259
4.2.1.1	Reduzierung der Tierbestände .....	260
4.2.1.2	Bindung der Tierhaltung an die Fläche .....	261
4.2.1.3	Reduzierung der Methanemission je Produkteinheit ..	262
4.2.1.4	Verringerung der Methanemissionen aus den Exkrementen .....	264
4.2.2	Maßnahmen zur Reduzierung von Distickstoffoxidemissionen (N <sub>2</sub> O) .....	266
4.2.2.1	Flächenbezogene Stickstoffbilanzierung .....	267
4.2.2.2	Verteuerung und Begrenzung des mineralischen Stickstoffdüngers .....	268
4.2.2.3	Bindung der Tierhaltung an die Fläche .....	273
4.2.2.4	Bewirtschaftungsmaßnahmen zur Beeinflussung der Distickstoffoxidemissionen .....	276
4.2.3	Maßnahmen zur Reduzierung von Ammoniakemissionen (NH <sub>3</sub> ) .....	279
4.2.3.1	Reduzierung der Tierbestände/Bindung der Tierhaltung an die Fläche .....	280
4.2.3.2	Reduzierung der Ammoniakemissionen je Produkteinheit .....	281
4.2.3.3	Gewinnung, Lagerung, Aufbereitung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern .....	282

4.2.3.4	Herstellung und Ausbringung von stickstoffhaltigen Mineraldüngern .....	286
4.2.4	Maßnahmen zur Reduzierung von Kohlendioxidemissionen (CO <sub>2</sub> ) .....	286
4.2.4.1	Bodenschutz und Humuswirtschaft .....	287
4.2.4.2	Senkung des Energieverbrauchs in der Landwirtschaft .....	290
4.2.4.3	Anbau nachwachsender Rohstoffe und Energieträger	292
4.2.5	Rahmenbedingungen zur Gestaltung einer nachhaltigen Landwirtschaft .....	300
4.3	Handlungsoptionen auf internationaler Ebene .....	305
4.3.1	Veränderungen der politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen des Welthandels und der wirtschaftlichen Zusammenarbeit .....	307
4.3.1.1	Welthandel .....	307
4.3.1.2	Wirtschaftliche Zusammenarbeit .....	311
4.3.2	Verringerung des Bevölkerungswachstums .....	313
4.3.3	Technische Entwicklungszusammenarbeit .....	314
4.3.3.1	Agroforstwirtschaft .....	315
4.3.3.2	Methan-Reduktion im Reisanbau .....	316
4.4	Handlungsempfehlungen der Enquete-Kommission ..	317
4.4.1	Handlungsempfehlungen auf nationaler und europäischer Ebene .....	318
4.4.1.1	Veränderung der agrarpolitischen Rahmenbedingungen im Hinblick auf die Umsetzung einer nachhaltigen umweltverträglichen Landwirtschaft .....	318
4.4.1.2	Maßnahmen zur Reduzierung von Methanemissionen (CH <sub>4</sub> ) .....	319
4.4.1.3	Maßnahmen zur Reduzierung von Distickstoffoxidemissionen (N <sub>2</sub> O) .....	321
4.4.1.4	Maßnahmen zur Reduzierung der Ammoniakemissionen (NH <sub>3</sub> ) .....	322
4.4.1.5	Maßnahmen zur Reduzierung von Kohlendioxidemissionen (CO <sub>2</sub> ) .....	323
4.4.2	Handlungsempfehlungen auf internationaler Ebene ..	325
4.4.2.1	Veränderungen der politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen des Welthandels und der wirtschaftlichen Zusammenarbeit .....	325
4.4.2.2	Maßnahmen zur Verringerung des Bevölkerungswachstums .....	326
4.4.2.3	Technische Entwicklungszusammenarbeit im Agrarsektor .....	326

4.5	Möglichkeiten der Anpassung der Landwirtschaft an die Klimaänderung .....	327
4.6	Forschungsbedarf .....	329
5.	<b>Literaturverzeichnis zu Abschnitt B .....</b>	<b>332</b>

## **Abschnitt C – Klimaänderung und Wälder**

	<b>Zusammenfassung und zentrale Empfehlungen .....</b>	<b>345</b>
1.	<b>Die Wälder der Erde .....</b>	<b>354</b>
1.1	Verbreitung und Gliederung .....	354
1.2	Das Ökosystem Wald .....	356
1.3	Bedeutung der Wälder für den Menschen .....	357
1.4	Historische Entwicklung und aktuelle Gefährdung der Wälder .....	361
1.5	Die Zukunft der Wälder in einem veränderten Klima .....	363
1.6	Zeit zu Handeln .....	364
1.6.1	Maßnahmen außerhalb der Wald- und Holzwirtschaft .....	364
1.6.2	Herausforderung für die Wald- und Holzwirtschaft ..	366
2.	<b>Die Wälder der borealen Zone .....</b>	<b>368</b>
2.1	Geographische Verbreitung .....	368
2.2	Vegetationsgeographische Gliederung .....	372
2.3	Evolution, Struktur und Entwicklungsdynamik borealer Waldökosysteme .....	376
2.4	Die Bedeutung der borealen Wälder .....	379
2.4.1	Der Einfluß der borealen Wälder auf das regionale und globale Klima .....	380
2.4.2	Biodiversität .....	383
2.4.3	Lebensraum für die heutige Bevölkerung, speziell für indigene Völker .....	385
2.4.4	Wirtschaftliche Bedeutung .....	386
2.4.5	Schutz- und Erholungsfunktion .....	388
2.5	Die Beeinflussung der borealen Wälder durch den Menschen .....	391
2.5.1	Holzeinschlag .....	393
2.5.2	Feuer und Schädlingsbefall .....	398
2.5.3	Erschließung und industrielle Entwicklung .....	399
2.6	Waldnutzung und -gefährdung in der ehemaligen Sowjetunion .....	401

2.6.1	Forst- und Holzwirtschaft in der ehemaligen Sowjetunion .....	401
2.6.2	Gefährdung durch Feuer .....	408
2.6.3	Gefährdung durch die fortschreitende Erschließung Sibiriens und die Emissionen aus der Industrie .....	409
2.7	Nutzung und Gefährdung der Wälder in Kanada ....	412
2.7.1	Die kanadische Forst- und Holzwirtschaft .....	412
2.7.2	Gefährdung durch Feuer und Insekten .....	421
2.7.3.	Industrielle Erschließung .....	424
2.8	Waldnutzung und -gefährdung in Fennoskandien ...	428
2.8.1	Der Einfluß der Forst- und Holzwirtschaft .....	428
2.8.2	Schadstoffeintrag in die Wälder .....	432
<b>3.</b>	<b>Die Wälder der gemäßigten Zone .....</b>	<b>433</b>
3.1	Abgrenzung und geographische Verbreitung .....	433
3.2	Die Waldtypen in der gemäßigten Zone .....	438
3.3	Die Entwicklung der Wälder der gemäßigten Zone ..	440
3.4	Die Bedeutung der Wälder der gemäßigten Zone ....	442
3.4.1	Bedeutung für das globale Klima .....	444
3.4.2	Wirtschaftliche Bedeutung .....	445
3.5	Die neuartigen Waldschäden .....	450
3.5.1	Inventurmethode und beobachtetes Ausmaß .....	450
3.5.1.1	Bundesrepublik Deutschland .....	450
3.5.1.2	Europa .....	456
3.5.2	Ursachen der Waldschäden .....	459
3.5.3	Die Rolle des Eintrags von Luftverunreinigungen in die Wälder .....	459
3.5.3.1	Direkte Wirkung von Schadgasen auf die oberirdischen Pflanzenteile .....	467
3.5.3.2	Wirkungen langfristiger Stoffzufuhr und -anreicherung im Boden .....	468
3.5.4	Fazit .....	475
3.6	Sonstige Waldgefährdungen .....	476
3.6.1	Waldbrände .....	478
3.6.2	Wildschäden .....	479
<b>4.</b>	<b>Bestand und Gefährdung der tropischen Wälder ...</b>	<b>482</b>
4.1	Geographische Verbreitung, Gliederung und Ökologie der tropischen Waldökosysteme .....	482
4.1.1	Immergrüne tropische Feuchtwälder .....	484
4.1.2	Regengrüne tropische Feuchtwälder .....	489
4.1.3	Regengrüne Trockenwälder .....	489

6.3	Möglichkeiten zur zusätzlichen Kohlenstoffeinbindung im Bereich der Forst- und Holzwirtschaft .....	561
6.3.1	Potentiale zur Kohlenstoffeinbindung durch Aufforstung nichtbewaldeter Flächen .....	563
6.3.2	Erhöhung der Biomassendichte in bestehenden Wäldern .....	569
6.3.3.	Erhöhung der Kohlenstoffspeicherung in Holzprodukten und Ersatz energieintensiver Materialien durch Holz .....	572
6.3.4	Ersatz fossiler Energieträger durch Holz aus nachhaltiger Bewirtschaftung .....	574
6.3.5	Fazit .....	575
<b>7.</b>	<b>Bisherige Maßnahmen, Handlungsmöglichkeiten und Empfehlungen zum Schutz der Wälder .....</b>	<b>578</b>
7.1	Situationsanalyse .....	579
7.2	Allgemeine Zielsetzungen und Handlungsfelder .....	581
7.3	Handlungsoptionen, Instrumente und Empfehlungen zum Schutz der temperierten Wälder .....	584
7.3.1	Instrumente zur Veränderung waldschädigender Emissionen .....	585
7.3.2	Schutz und nachhaltige Bewirtschaftung .....	590
7.3.3	Empfehlungen der Enquete-Kommission zum Schutz der temperierten Wälder .....	591
7.3.3.1	Empfehlungen für die internationale Ebene .....	591
7.3.3.2	Empfehlungen für die nationale und die EU-Ebene ..	595
7.4	Handlungsoptionen, Instrumente und Empfehlungen zum Schutz der borealen Wälder .....	600
7.4.1	Handlungsoptionen und Instrumente .....	601
7.4.2	Empfehlungen der Enquete-Kommission zum Schutz der borealen Wälder .....	602
7.4.2.1	Verstärkung der internationalen Kooperation mit den Nachfolgestaaten der ehemaligen Sowjetunion .....	602
7.4.2.2	Entwicklung und Umsetzung von Schutz- und nachhaltigen Nutzungskonzepten in den borealen Wäldern Nordamerikas .....	603
7.5	Handlungsoptionen, Instrumente und Empfehlungen zum Schutz der Tropenwälder .....	604
7.5.1	Handlungsoptionen und Instrumente .....	604
7.5.1.1	Tropenforst-Aktionsprogramm (TFAP) .....	604
7.5.1.2	Pilotprogramm zum Schutz der brasilianischen Regenwälder .....	605



7.5.1.3	Schuldenerleichterungen und -erlaß .....	607
7.5.1.4	Globale Umweltfazilität (GEF) .....	609
7.5.1.5	Internationales Tropenholz-Übereinkommen (ITTA) und Internationale Tropenholzorganisation (ITTO) ...	610
7.5.1.6	Einführung eines Labels für Tropenholz aus nachhaltiger Bewirtschaftung .....	611
7.5.2	Empfehlungen der Enquete-Kommission zum Schutz der Tropenwälder .....	611
7.5.2.1	Bewertung der bisherigen Initiativen auf der Basis der Empfehlungen der Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ .....	611
7.5.2.2	Globale Analyse und kritische Bewertung der bi- und multilateralen Bemühungen zum Tropenwaldschutz .	615
7.5.2.3	Entwicklung und Umsetzung einer sozial- und umweltverträglichen Landnutzungsplanung in den Tropenwaldländern .....	615
7.5.2.4	Entwicklung und Umsetzung tragfähiger Schutzkonzepte .....	615
7.5.2.5	Entwicklung und Umsetzung nachhaltiger Bewirtschaftungsmethoden .....	617
7.5.2.6	Ausweitung von umweltverträglichen und von der Bevölkerung akzeptierten Aufforstungen .....	618
7.5.2.7	Festschreibung nachprüfbarer Kriterien für nachhaltig erzeugte Holzprodukte und Einführung eines Tropenholzlabels .....	619
7.6	Klima- und umweltverträgliche Holzverwendung ...	620
7.6.1	Handlungsoptionen und Rahmenbedingungen .....	621
7.6.1.1	Effiziente Nutzung des eingeschlagenen Holzes .....	622
7.6.1.2	Vermeidung und Wiederverwertung von Produkten aus Papier- und Pappe .....	624
7.6.1.3	Energetische Nutzung von Holz und Holzabfällen ...	625
7.6.2	Nationale Rahmenbedingungen und Handlungsfelder	630
7.6.3	Handlungsempfehlungen der Enquete-Kommission im Bereich klima- und umweltverträglicher Holzverwendung .....	632
7.6.3.1	Maßnahmen auf der internationalen Ebene .....	632
7.6.3.2	Maßnahmen auf der nationalen Ebene .....	633
7.7	Internationale Konvention zum Schutz der Wälder ..	636
7.7.1	Rechtliche Grundlagen und Möglichkeiten .....	637
7.7.2	Empfehlungen der Enquete-Kommission zur Aus- arbeitung und Verabschiedung einer Internationalen Konvention zum Schutz der Wälder .....	640

7.7.2.1	Struktur der Konvention .....	640
7.7.2.2	Inhaltliche Eckpunkte .....	641
7.7.2.3	Zeitplan für die Verabschiedung einer Internationalen Waldkonvention .....	649
7.8	Forschungsempfehlungen .....	650
7.8.1	Aktueller Waldbestand und globale Waldflächenentwicklung in den verschiedenen Klimazonen .....	650
7.8.2	Waldökologie und Stoffhaushalt der Wälder sowie Auswirkungen künftiger Klimaänderungen .....	651
7.8.3	Waldwirtschaftliche Möglichkeiten zur Eindämmung des anthropogenen Treibhauseffektes .....	651
7.8.4	Ökonomische Bewertung der vielfältigen Leistungen der Wälder .....	652
7.8.5	Effiziente und sparsame Holzverwendung .....	652
8.	<b>Literaturverzeichnis zu Abschnitt C .....</b>	<b>653</b>
<b>Anhang</b>	<b>.....</b>	<b>669</b>