| UMWELTDATEN |



DATEN ZUR UMWELT

Der Zustand der Umwelt in Deutschland Ausgabe 2005

ESV
ERICH SCHMIDT VERLAG

Umwelt Bundes Amt
Für Mensch und Umwelt

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über dnb.ddb.de abrufbar.

Herausgeber:
Umweltbundesamt (UBA)
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau
Tel.: 0340/21 03-0
Telefax: 0340/21 03-2285
Internet: www.umweltbundesamt.de

Konzeptionelle und redaktionelle Gesamtverantwortung:
Fachgebiet I 1.5 „Nationale und internationale Umweltberichterstattung"
Dr. Jacqueline Burkhardt, Joachim Hörder,
Marian Pohl, Walburga Großbe Wichtrup, Sibylle Wilke

Redaktionsschluss: Juni 2005

1. Ausgabe: Daten zur Umwelt 1984
2. Ausgabe: Daten zur Umwelt 1986/87
3. Ausgabe: Daten zur Umwelt 1988/89
4. Ausgabe: Daten zur Umwelt 1990/91
5. Ausgabe: Daten zur Umwelt 1992/93
6. Ausgabe: Daten zur Umwelt – Der Zustand der Umwelt in Deutschland – Ausgabe 1997
7. Ausgabe: Daten zur Umwelt – Der Zustand der Umwelt in Deutschland 2000 (erschienen 2001)
8. Ausgabe: Daten zur Umwelt – Der Zustand der Umwelt in Deutschland – Ausgabe 2005

ISBN 3-503-09057-6 (Buch + CD)
3-503-09058-4 (CD separat)

Alle Rechte vorbehalten
© 2005 Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. Berlin
Nachdruck mit Quellenangabe gestattet

Satz, Druck und technische Erstellung CD:
KOMAG Berlin-Brandenburg
Titelbild: © Getty Images/Photodisc

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

Umweltbundesamt

Daten zur Umwelt

Der Zustand der Umwelt in Deutschland

Ausgabe 2005

Erich Schmidt Verlag

Politische Gliederung 4

Vorwort 5

Inhaltsverzeichnis 7

A Klima 11

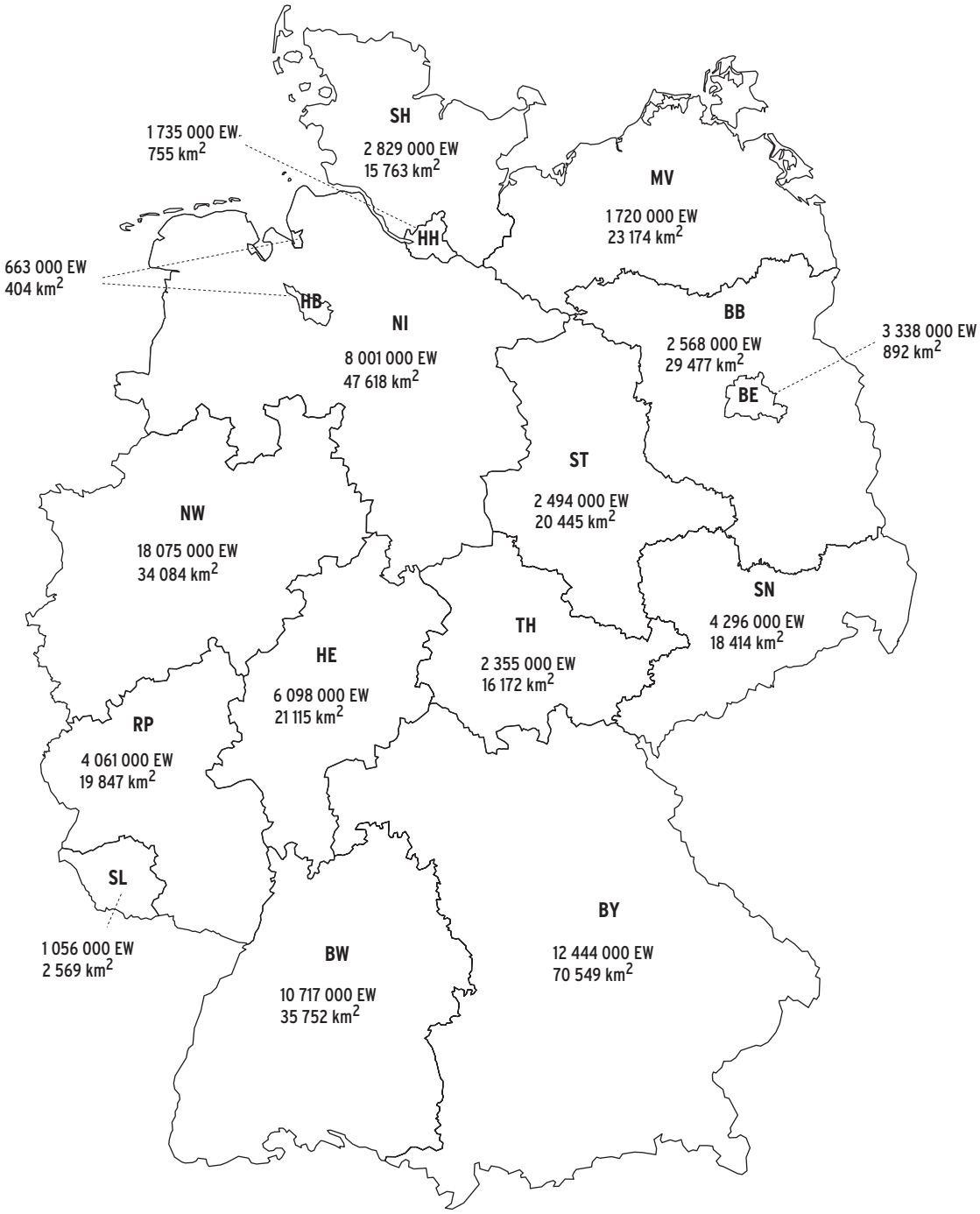
B Umwelt, Gesundheit und Lebensqualität 69

C Umweltmedien und Ökosysteme 111

D Nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen und Bewirtschaftung von Abfällen 283

Anhang 325

Bundesrepublik Deutschland



D: Gesamtbevölkerung in Mio.: 82,5 (Stand: 31.12.2004)
Gesamtfläche in Tsd. km²: 357 (Stand: 31.12.2003)

BW:	Baden-Württemberg	HE:	Hessen	SN:	Sachsen
BY:	Bayern	MV:	Mecklenburg-Vorpommern	ST:	Sachsen-Anhalt
BE:	Berlin	NI:	Niedersachsen	SH:	Schleswig-Holstein
BB:	Brandenburg	NW:	Nordrhein-Westfalen	TH:	Thüringen
HB:	Bremen	RP:	Rheinland-Pfalz		
HH:	Hamburg	SL:	Saarland		

Quelle: Statistisches Bundesamt



Vorwort

Wie gut ist die Qualität von Wasser, Boden, Luft in Deutschland? Wie stark ist die Gesundheit durch Umwelteinflüsse belastet? Das Umweltbundesamt gibt in den vor Ihnen liegenden „Daten zur Umwelt 2005“ umfassend und im Detail Auskunft über den aktuellen Zustand der Umwelt. Die in den „Daten zur Umwelt“ seit 1984 dokumentierten Veränderungen sind beachtlich. Und wir können daraus lernen. Zum einen veranschaulichen die Grafiken, Tabellen und Zahlenreihen, welche Erfolge eine konsequente nationale und internationale Politik zum Schutz der Umwelt und Gesundheit hat. Offenbar wird andererseits, wie wichtig es ist, im Umweltschutz auf der Höhe der Zeit zu bleiben und nicht nachzulassen. Beim Erscheinen der ersten „Daten zur Umwelt“ hätte wohl kaum jemand daran geglaubt, wieder in den großen Flüssen baden zu können. Auch die Qualität der Luft in Deutschland ist seitdem im Großen und Ganzen besser geworden. Gleichzeitig hatte wohl niemand das Tempo und Ausmaß etwa des Flächenverbrauchs oder des Klimawandels vor Augen, wie wir beides heute erkennen. Beide Entwicklungen sagten die Ausgaben der Daten zur Umwelt in den 90er Jahren in recht zutreffender Weise vorher. Die Schlussfolgerung aus diesen Entwicklungen ist: Eine vorausschauende, also vorsorgende Umweltpolitik braucht aktuelle und zuverlässige Daten. Erst eine umfassende Gesamtschau auf den Zustand der Umwelt in Deutschland und Prognosen zur wahrscheinlichen Entwicklung machen es möglich, den Stand zu den nationalen und international vereinbarten Umweltzielen zu bilanzieren. Die Feststellung, woher die Umweltbelastungen maßgeblich kommen, ermöglicht es zudem, zu beurteilen, wie wirksam die Umweltpolitik war.

Der vorliegende Bericht weist gegenüber seinen sieben Vorgängern eine Neuerung auf: Er ist in Anlehnung an das 6. Europäische Umweltaktionsprogramm am jeweilig zu schützenden Gut – also etwa der menschlichen Gesundheit – orientiert und daher in die Kapitel *Klima; Umwelt, Gesundheit und Lebensqualität; Umweltmedien und Ökosysteme sowie Nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen und Bewirtschaftung von Abfällen* gegliedert.

Der Vorteil: Es findet keine getrennte Betrachtung der Umweltaspekte Gesundheit, Wasser, Boden, Luft sowie der wirtschaftlichen und querschnittsorientierten Aktivitäten statt. Vielmehr verknüpft die aktuelle Fassung – so weit es geht – diese Betrachtungen.

Dieses Vorgehen ermöglicht es auch, die politischen Anstrengungen für eine nachhaltige Entwicklung unserer Lebensgrundlagen besser abzubilden. Nicht nur die Umweltgefährdungen durch die verschiedenen wirtschaftlichen Sektoren – wie Landwirtschaft oder Industrie – werden aufgezeigt, sondern auch die Instrumente und Maßnahmen der betroffenen sektoralen Politiken für einen umsichtigen Umgang mit den natürlichen Ressourcen zum Schutz der globalen Ökosysteme und der menschlichen Gesundheit erhalten einen angemessenen Raum.

Die Verfügbarkeit repräsentativer Daten bestimmt weitgehend die Themenauswahl der aktuellen „Daten zur Umwelt“. Grundlage bilden vorwiegend die Statistiken des Bundes und der Länder nach dem Umwelt-, Agrar- und Wasserhaushaltsstatistikgesetz sowie Erhebungen der Wirtschaftsverbände. Die Beschreibung der Umweltqualität stützt sich vor allem auf die Messnetzprogramme und Fachinformationen des Bundes sowie die Messprogramme der Länder im Rahmen der Bund/Länder-Verwaltungsvereinbarung zum Datenaustausch im Umweltbereich.

Der beschränkte Platz der gedruckten Ausgabe der „Daten zur Umwelt 2005“ zwingt zur gekürzten Ausweisung vieler Tabellen. Um die Nutzerinnen und Nutzer dennoch vollständig zu informieren, liegt dem Buch eine CD ROM mit ungekürzten Zeitreihen und weiteren Zusatzinformationen bei. Das Umweltbundesamt bietet darüber hinaus auch mit den „Umweltdaten Deutschland Online“ unter der Internet-Adresse www.umweltbundesamt.de/umweltdaten elektronische Informationen, die eine Viel-

zahl der hier berücksichtigten Themen jährlich aktualisieren. Somit entspricht das Amt auch dem Umweltinformationsgesetz, das verlangt, der Öffentlichkeit den Zugang zu laufend verfügbaren Umweltinformationen mit Hilfe der elektronischen Kommunikation zu vereinfachen.

Die „Daten zur Umwelt“ weisen eine zwanzigjährige Tradition enger Zusammenarbeit mit einer Vielzahl von Bundes- sowie Landeseinrichtungen und einschlägigen Organisationen aus. Ohne sie ließe sich das facettenreiche Spektrum an umweltrelevanten Informationen nicht in einem Gesamtwerk zusammenfassen. Besonders danke ich dem Statistischen Bundesamt, dem Bundesamt für Naturschutz, dem Bundesamt für Strahlenschutz, dem Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, dem Bundesinstitut für Risikobewertung, dem Deutschen Wetterdienst, dem Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, der Bundesanstalt für Gewässerkunde, dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, dem Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, den Länderarbeitsgemeinschaften und den Verbänden, die mit Textbeiträgen, Datenbereitstellungen und Beratung zum Gelingen dieses Berichtes beitrugen.

Ich wünsche Ihnen eine aufschlussreiche Lektüre.



Prof. Dr. Andreas Troge
(Präsident des Umweltbundesamtes)

A Klima

I	**Klimawandel und Klimaschutz**	**11**
I 1	Treibhausgase in der Atmosphäre und globale Auswirkungen	11
I 1.1	Atmosphärische Treibhausgas-Konzentrationen	11
I 1.2	Klimaänderungen und -wirkungen	13
I 1.2.1	Globale Klimaänderungen	13
I 1.2.2	Klimatrends in Deutschland	15
I 2	Emissionen der Treibhausgase	18
I 2.1	Globale Entwicklungen	18
I 2.1.1	Charakteristika und Emissionen der wichtigsten Treibhausgase	18
I 2.1.2	Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen zur Minderung der Treibhausgas-Emissionen	21
I 2.2	Entwicklungen in der Europäischen Union (EU-15)	22
I 2.2.1	Emissionen der Treibhausgase	22
I 2.2.2	Reduktionsziele und Maßnahmen in der Europäischen Union	23
I 2.3	Entwicklungen in Deutschland	24
I 2.3.1	Emissionen der Treibhausgase	24
I 2.3.2	Ziele und Maßnahmen zur Minderung der Treibhausgase	28
I 3	Ökologische Steuerreform – eine Querschnittsmaßnahme für den Klimaschutz	30
I 4	Verursacherbereich Energie und Maßnahmen	32
I 4.1	Beitrag zum Treibhauseffekt	32
I 4.2	Energieverbrauch	32
I 4.2.1	Energieverbrauch nach Energieträgern	32
I 4.2.2	Energieverbrauch nach Verbrauchergruppen	34
I 4.3	Energieeffizienz bei der Energiebereitstellung	35
I 4.4	Erneuerbare Energien	37
I 4.4.1	Beitrag der erneuerbaren Energien zur Primärenergie- und Strombereitstellung	38
I 4.4.2	Instrumente und Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien	40
I 5	Verursacherbereich Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen und Maßnahmen	41
I 5.1	Beitrag zum Treibhauseffekt und Ressourcenverbrauch	41
I 5.2	Klimaschutzpolitische Querschnittsmaßnahmen in der Industrie und im GHD-Bereich	41
I 5.3	Selbstverpflichtungen und Vereinbarungen der deutschen Wirtschaft	42
I 5.4	Maßnahmen zur Förderung der industriellen Kraft-Wärme-Kopplung	42
I 6	Emissionshandel	42
I 7	Verursacherbereich Haushalte und Maßnahmen	47
I 7.1	Beitrag zum Treibhauseffekt und Ressourcenverbrauch	47
I 7.2	Ursachen für die unzureichenden Emissionsminderungen	48
I 7.2.1	Wärmebedarf in Abhängigkeit vom Alter der Gebäude	48
I 7.2.2	Emissionen von Kleinfeuerungsanlagen in Abhängigkeit von der Altersstruktur	48
I 7.3	Instrumente und Maßnahmen im Haushaltsbereich	50
I 7.3.1	Vorschriften und Förderprogramme	50
I 7.3.2	Technische Maßnahmen zur Energieeinsparung	51
I 7.3.3	Einsatz erneuerbarer Energien	51
I 7.3.4	Energieeffizienz und energiesparender Einsatz von Haushaltsgeräten	51
I 8	Verursacherbereich Verkehr und Maßnahmen	52
I 8.1	Beitrag zum Treibhauseffekt und Ressourcenverbrauch	52
I 8.2	Ursachen für den Anstieg der CO_2-Emissionen	53
I 8.2.1	Fahrleistungen, Verkehrsleistungen, Fahrzwecke	53
I 8.2.2	Transportintensität für den Personen- und Güterverkehr	55
I 8.2.3	Kraftstoffverbrauch	55
I 8.2.4	Kraftfahrzeugbestand	55
I 8.3	Instrumente und Maßnahmen im Verkehrsbereich	56
I 8.3.1	Verkehrsvermeidung durch Änderung der Raumordnung	56
I 8.3.2	Förderung umweltgerechter Verkehrswege	57
I 8.3.3	Verkehrstechnische Maßnahmen	58
I 8.3.4	Finanzpolitische Maßnahmen	63
I 9	Klima, Land- und Forstwirtschaft	66
I 9.1	Beitrag zu den Treibhausgasen	66
I 9.2	Maßnahmen in der Landwirtschaft	67
I 9.3	Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LUCF)	67

B Umwelt, Gesundheit und Lebensqualität

II	**Unerwünschte Stoffe und Schadstoffe**	**69**
II 1	Schadstoffbelastungen des Menschen	69
II 1.1	Human-Biomonitoring für Blei	70
II 1.2	Human-Biomonitoring für Platin und andere Edelmetalle	71

II 1.3	Human-Biomonitoring für Polyzyklische Kohlenwasserstoffe	71
II 1.4	Human-Biomonitoring für Pentachlorphenol und Hexachlorbenzol	72
II 1.5	Human-Biomonitoring für DEHP (Weichmacher)	72
II 1.6	Human-Biomonitoring für Organophosphate und Pyrethroide	74
II 1.7	Human-Biomonitoring für Polybromierte Flammschutzmittel	75
II 1.8	Human-Biomonitoring für Nikotin und Cotinin	75
II 2	Belastung von Lebensmitteln mit unerwünschten Stoffen	76
II 2.1	Pflanzenschutzmittel und weitere persistente organische Verbindungen in Lebensmitteln	77
II 2.2	Nitrat in pflanzlichen Lebensmitteln	80
II 2.3	Schwermetalle in Lebensmitteln	80
II 2.4	Ökologisch erzeugte Lebensmittel	81
II 3	Trinkwasser	83
II 4	Badegewässer	84
III	**Lärm**	**87**
III 1	Beeinträchtigungen durch Lärm aus verschiedenen Quellen	87
III 2	Instrumente und Maßnahmen zur Reduktion der Beeinträchtigung durch Lärm	88
III 3	Entwicklung der Geräuschemissionen verschiedener Quellen	90
IV	**Strahlen**	**93**
IV 1	Exposition der Bevölkerung durch ionisierende Strahlen	93
IV 1.1	Strahlenexposition der Bevölkerung durch natürliche und künstliche Quellen	93
IV 1.2	Strahlenexposition durch Radon in Gebäuden	94
IV 1.3	Häufigkeit und Dosis röntgendiagnostischer Untersuchungen in Deutschland – Aktuelle Auswertung für die Jahre 1996 bis 2001	97
IV 2	Exposition der Bevölkerung gegenüber nichtionisierender Strahlung	100
IV 2.1	Solare UV-Strahlung	100
IV 2.2	Abbau der stratosphärischen Ozonschicht	102
IV 2.3	Verwendung bestimmter ozonschichtschädigender und klimawirksamer Stoffe in Deutschland	106
IV 2.4	Umsetzung des Montrealer Protokolls	106

C Umweltmedien und Ökosysteme

V	**Luftreinhaltung**	**111**
V 1	Luftgetragene Schadstoffe	111
V 1.1	Schwefeldioxid (SO_2)	112
V 1.2	Stickstoffoxide (NO_x)	114
V 1.3	Schwebstäube	115
V 1.4	Bodennahes Ozon und Sommersmog	118
V 1.5	Schadstoffe in Ballungsgebieten	123
V 2	Ausgaben des Produzierenden Gewerbes, des Staates und der privatisierten öffentlichen Unternehmen für den Umweltschutz in der Luftreinhaltung	125
V 3	Übersicht schadstoffspezifischer Emissionen	127
VI	**Gewässerschutz**	**129**
VI 1	Oberflächengewässer	129
VI 1.1	Gewässerstruktur und Hochwasserschutz	129
VI 1.2	Biologische Gewässergüte	136
VI 1.3	Chemische Beschaffenheit	136
VI 1.3.1	Nährstoffe	139
VI 1.3.2	Schwermetalle	147
VI 1.3.3	Organische Umweltchemikalien in Fließgewässern	149
VI 1.3.4	Pflanzenschutzmittel in Fließgewässern	150
VI 2	Grundwasserqualität	153
VI 2.1	Pflanzenschutzmittel im Grundwasser	154
VI 2.2	Nitratgehalte des Grundwassers	155
VI 3	Meere	157
VI 3.1	Nordsee	157
VI 3.1.1	Wassereinzugsgebiet der Nordsee	157
VI 3.1.2	Emissionen in die Oberflächengewässer	158
VI 3.1.3	Flusseinträge und direkte Einträge	160
VI 3.1.4	Schadstoffeintrag aus der Atmosphäre in die Nordsee	165
VI 3.1.5	Schadstoffbelastung im Meerwasser der Nordsee	166
VI 3.1.6	Schadstoffbelastung im Sediment der Nordsee	169
VI 3.1.7	Schadstoffbelastung der Organismen in der Nordsee	170
VI 3.1.8	Eutrophierung in der Nordsee	175
VI 3.2	Ostsee	181
VI 3.2.1	Wassereinzugsgebiet	181
VI 3.2.2	Emissionen in die Oberflächengewässer	183
VI 3.2.3	Flusseinträge und direkte Einträge	187
VI 3.2.4	Schadstoffeintrag aus der Atmosphäre	190
VI 3.2.5	Schadstoffbelastung im Meerwasser	191
VI 3.2.6	Schadstoffbelastung im Sediment	194
VI 3.2.7	Schadstoffbelastung der Organismen	196

VI 3.2.8 Eutrophierung in der Ostsee 199
VI 4 Abwasserbehandlung 202
VI 4.1 Anschluss der Bevölkerung an Abwasserbehandlungsanlagen 202
VI 4.2 In öffentlichen Kläranlagen behandelte Abwassermenge 204
VI 4.3 Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen 205
VI 4.4 Abwasserbehandlung im Bergbau und Verarbeitenden Gewerbe 205
VI 4.5 Abwasserbehandlung bei Wärmekraftwerken für die öffentliche Versorgung 209
VI 4.6 Ausgaben des Produzierenden Gewerbes, des Staates und der privatisierten öffentlichen Unternehmen für den Umweltschutz in der Wasserwirtschaft 209

VII Bodenschutz 211
VII 1 Flächennutzung/Siedlungsstruktur 211
VII 1.1 Struktur der Flächennutzung 211
VII 1.2 Tägliche Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche 213
VII 1.3 Raumordnung in der Ausschließlichen Wirtschaftszone 214
VII 1.4 Stand der Regionalplanung 215
VII 1.5 Demographischer Wandel und Siedlungsstruktur 216
VII 2 Stofflicher Bodenzustand 220
VII 2.1 Hintergrundwerte für anorganische Stoffe in Böden Deutschlands 220
VII 2.2 Belastung der Böden mit Dioxinen 222
VII 3 Einträge von Schadstoffen 225
VII 3.1 Einträge von Luftschadstoffen 225
VII 3.2 Düngungsbedingte Schadstoffeinträge in landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzte Böden 232
VII 3.3 Altlasten 238
VII 3.4 Altlastenerfassung, Gefährdungsabschätzung, Altlastensanierung 238
VII 4 Nichtstofflicher Bodenschutz 241
VII 4.1 Erosionsrisiko 241
VII 4.2 Maßnahmen 242

VIII Ökosysteme und biologische Vielfalt 243
VIII 1 Bestand und Gefährdungssituation 243
VIII 1.1 Gefährdung der wild lebenden Pflanzen- und Tierarten 243
VIII 1.2 Biotoptypen 244
VIII 1.3 Genetische Vielfalt 246
VIII 1.4 Artenindex 247
VIII 1.5 Zustand der Wälder 247
VIII 1.5.1 Waldzustand in Deutschland 248
VIII 1.5.2 Waldzustand in Europa 250
VIII 1.6 Lebensraum Alpen und biologische Vielfalt 251
VIII 2 Anthropogene Belastungen 255
VIII 2.1 Flächeninanspruchnahme und Fragmentierung 255
VIII 2.2 Stoffliche Belastungen und Wirkungen 258
VIII 2.2.1 Luftverunreinigungen und Nährstoffe 258
VIII 2.2.2 Eutrophierung 260
VIII 2.2.3 Versauerung 261
VIII 2.2.4 Ozonwirkungen auf Ökosysteme 262
VIII 3 Maßnahmen zur Erhaltung der Ökosysteme und der biologischen Vielfalt 264
VIII 3.1 Erhaltung und nachhaltige Nutzung der biologischen Vielfalt in der Landwirtschaft 264
VIII 3.2 Umweltmaßnahmen im Agrarbereich und deren Förderung 267
VIII 3.3 Nachhaltige Waldbewirtschaftung 268
VIII 3.4 Geschützte Gebiete 269
VIII 3.4.1 Nationale Schutzgebiete 271
VIII 3.4.2 Internationale Schutzgebiete 275

D Nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen und Bewirtschaftung von Abfällen

IX Nutzung natürlicher Ressourcen 283
IX 1 Nutzung der entnommenen Materialien und Energieträger 283
IX 1.1 Rohstoffeinsatz und -produktivität 283
IX 1.2 Produktivität des Energieeinsatzes 285
IX 1.3 Wasserressourcen und ihre Nutzung 286
IX 2 Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche und Flächenproduktivität 290

X Abfallwirtschaft 293
X 1 Abfallaufkommen 293
X 1.1 Abfallaufkommen in der Abfallstatistik 293
X 1.2 Aufkommen an besonders überwachungsbedürftigen Abfällen (Sonderabfällen) 295
X 1.3 Behandlung radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente 296
X 2 Abfallverwertung 299
X 2.1 Verwertungsquoten der Hauptabfallströme 300
X 2.2 Verwertung ausgewählter Abfallarten 300
X 3 Abfallentsorgung 314
X 3.1 Entsorgung von Abfällen 314

X 3.2	Ablagerungsquoten der Hauptabfallströme	315
X 3.3	Abfallentsorgungsanlagen	316
X 4	Ausgaben des Produzierenden Gewerbes, des Staates und der privatisierten öffentlichen Unternehmen für den Umweltschutz in der Abfallwirtschaft	320
X 5	Grenzüberschreitende Abfallverbringung	321

Anhänge:

	Begriffserläuterungen	325
	Abkürzungen	331
	Einheiten	334
	Quellenverzeichnis	335
	Stichwortverzeichnis	347
	Autorenverzeichnis	353

I KLIMAWANDEL UND KLIMASCHUTZ

I 1 Treibhausgase in der Atmosphäre und globale Auswirkungen

Anzeichen für den derzeit stattfindenden Klimawandel und seine Auswirkungen häufen sich. Der durch den Menschen verursachte (anthropogene) Treibhauseffekt ist mit ca. 60–70 % für diese Veränderungen verantwortlich, natürliche Prozesse spielen dabei eine wesentlich geringere Rolle. Seit Beginn der Industrialisierung hat der Mensch hauptsächlich durch seine energieintensive Lebensweise damit begonnen, Treibhausgase in die Atmosphäre abzugeben. Im Vordergrund steht die Verbrennung fossiler Brennstoffe, aber auch nichtenergetische Produktionsprozesse tragen zur wachsenden Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre bei. Der dadurch hervorgerufene Klimawandel ist als globaler Temperaturanstieg bereits deutlich erkennbar.

I 1.1 Atmosphärische Treibhausgas-Konzentrationen

Die wichtigsten Spurengase in der Atmosphäre, die den natürlichen Treibhauseffekt verursachen, sind Wasserdampf (H_2O), Kohlendioxid (CO_2), Ozon (O_3), Distickstoffoxid (Lachgas = N_2O) und Methan (CH_4). Die durch menschliche Aktivitäten ausgelösten und über die natürlichen Emissionen von Spurenstoffen hinausgehenden Freisetzungen derselben Gase verursachen den zusätzlichen anthropogenen Treibhauseffekt. Neben den oben genannten sind folgende Gase daran beteiligt: Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), Halone, perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe (FKW, darunter insbesondere CF_4 und C_2F_6), Schwefelhexafluorid (SF_6), teilhalogenierte FCKW (H-FCKW), wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW) sowie in geringem Umfang in größeren Höhen durch den Flugverkehr emittierter Wasserdampf.

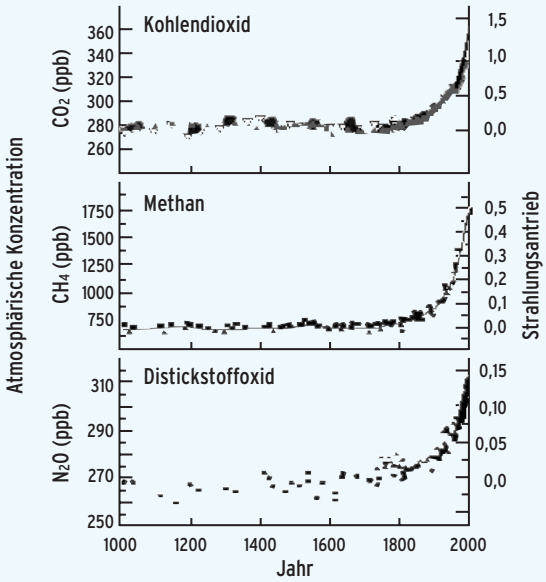
Darüber hinaus wird der anthropogene Treibhauseffekt dadurch verstärkt, dass der absolute Gehalt von Wasserdampf in der Atmosphäre mit steigender Temperatur der Luft und der Ozeane wächst, wodurch eine weitere Temperaturerhöhung bewirkt wird (positive Rückkopplung).

Aerosole, die in die Atmosphäre gelangen, haben insgesamt eine gegenläufige Wirkung zu der durch den Treibhauseffekt hervorgerufenen Erwärmung.

Kohlendioxid (CO_2)

Die CO_2-Konzentration ist seit 1750 um etwa 30 % gestiegen und hat einen Wert von rund 370 ppmv überschritten (Abb. I 1.1-1). Die gegenwärtige CO_2-Konzentration wurde in den vergangenen 420 000 Jahren und wahrscheinlich auch in den letzten 20 Millionen Jahren nicht erreicht. Die derzeitige jährliche Anstiegsrate ist die höchste der letzten 20 000 Jahre.

Abb. I 1.1-1: *Atmosphärische Konzentrationen der Treibhausgase*



Quelle: *Intergovernmental Panel for Climate Change 2001*

Etwa drei Viertel der anthropogenen Emissionen der letzten 20 Jahre sind auf die Verbrennung fossiler Brennstoffe zurückzuführen.

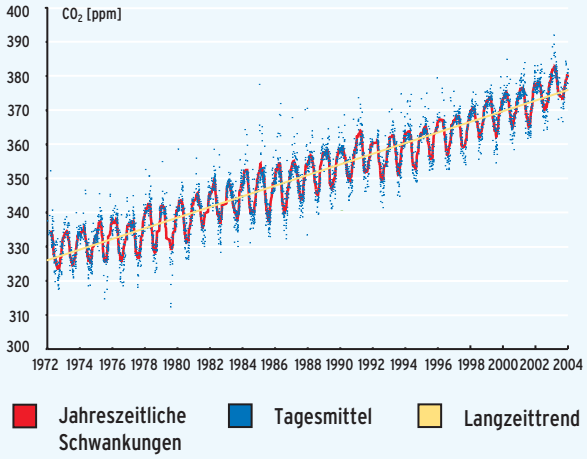
Die jährliche Konzentrationszunahme der letzten beiden Dekaden betrug etwa 0,4 %. In den 90er Jahren variierte die jährliche Konzentrationszunahme zwischen 0,2 % und 0,8 %.

Seit 1958 ist dieser Trend durch regelmäßige Messungen auf dem Mauna Loa auf Hawaii belegt. Auch die Messungen an den Stationen des Umweltbundesamtes (UBA), z.B. an der Messstelle Schauinsland (Abb. I 1.1-2), zeigen diesen Trend.

Methan (CH_4)

Die CH_4-Konzentration ist seit 1750 um rund 150 % auf über 1 760 ppbv gestiegen (Abb. I 1.1-1). Die heutige Konzentration wurde in den vergangenen

Abb. I 1.1-2: *Atmosphärische CO_2-Konzentration an der Messstelle Schauinsland des Umweltbundesamtes 1972–2003*



Quelle: *Umweltbundesamt 2004*

420 000 Jahren nicht erreicht. Die jährliche Konzentrationszunahme in den 90er Jahren hat sich im Vergleich zu den 80er Jahren verlangsamt und stagniert zum Teil. Etwas mehr als die Hälfte der gegenwärtigen CH_4-Emissionen verursacht der Mensch (fossile Brennstoffe, Landwirtschaft und Abfallwirtschaft).

Die Stabilisierung der CH_4-Konzentration auf dem heutigen Niveau würde die Reduktion der globalen anthropogenen CH_4-Emissionen um 8 % voraussetzen.

Distickstoffoxid, Lachgas (N_2O)

Die N_2O-Konzentration ist seit 1750 um etwa 17 % gestiegen und nimmt weiterhin zu (Abb. I 1.1-1). Die aktuelle Konzentration blieb in den vergangenen 1000 Jahren unerreicht. Etwa ein Drittel der Emissionen ist anthropogenen Ursprungs (Landwirtschaft und Chemische Industrie).

Eine Stabilisierung der N_2O-Konzentration auf dem heutigen Niveau würde eine Reduktion der anthropogenen Emissionen um über 50 % voraussetzen.

Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW)

Ozonschichtabbauende Gase mit dem größten Treibhauspotenzial sind: FCKW-11, FCKW-12 und FCKW-113. Die Konzentrationen dieser Gase stagnieren oder nehmen ab, allerdings sind bei einigen Halonen noch Anstiege zu verzeichnen.

Schwefelhexafluorid (SF_6)

SF_6 ist das spezifisch wirksamste bekannte Treibhausgas. Einmal in die Atmosphäre emittiert, dauert es etwa 3 200 Jahre, bis die extrem stabilen Moleküle in sehr hohen Atmosphärenschichten durch energiereiche UV-Strahlung abgebaut werden. Messungen ergaben, dass die SF_6-Konzentration seit Beginn der industriellen Produktion im Jahre 1953 um zwei Größenordnungen gestiegen ist (Abb. „Anstieg der troposphärischen Konzentration von SF_6“).

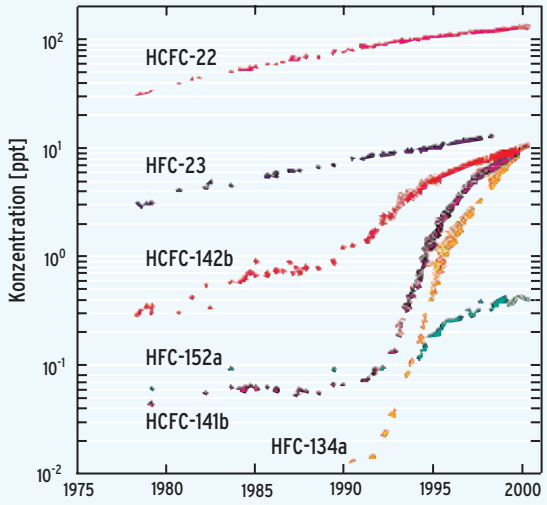
Perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW)

FKW besitzen ebenfalls eine überaus stabile Molekülstruktur, woraus sich atmosphärische Verweilzeiten von bis zu 50 000 Jahren ableiten. Atmosphärenmessungen ergaben, dass etwa die Hälfte des gegenwärtig in der Atmosphäre befindlichen CF_4 natürlichen Ursprungs ist [1]. Seit Mitte der 50er Jahre jedoch erhöht sich mit steigender Verwendung des Gases in der Industrie die atmosphärische CF_4-Konzentration. Ähnliche Trends findet man für C_2F_6 und andere FKW (Abb. „Atmosphärische CF_4-Konzentration“ und Abb. „Atmosphärische C_2F_6-Konzentration“).

Halogenierte Kohlenwasserstoffe (H-FKW)

Zu den technisch wichtigsten H-FKW gehören H-FKW 23, H-FKW 134a und H-FKW 152a. Zwischen 1978 und 1995 stieg die Konzentration von H-FKW 23 fast linear von 2 auf 10 ppt. Die Konzentration von H-FKW 134a ist in den letzten 10 Jahren infolge der zunehmenden Nutzung dieses Gases exponentiell von nahe Null auf fast 10 ppt gestiegen [2]. Die Konzentrationszunahme von H-FKW 152a fiel wegen seiner relativ kurzen atmosphärischen Verweilzeit weniger drastisch als bei den beiden vorgenannten Gasen aus und blieb bisher unter 1 ppt (Abb. I 1.1-3).

Abb. I 1.1-3: *Atmosphärische Konzentrationen von H-FKW 23 und H-FKW 152a sowie einiger H-FCKW*



Quelle: *Intergovernmental Panel for Climate Change 2001*

Sonstige Stoffe

Darüber hinaus beeinflussen Sulfat-Aerosole, die sich aus Schwefeldioxid bilden, und Staub (u.a. aus Vulka-

nen und Waldbränden) den Strahlungshaushalt der Erde. Steigende Aerosolkonzentrationen dämpfen tendenziell den durch die Treibhausgase verursachten Temperaturanstieg. Sulfat-Aerosole können in der Troposphäre zu verstärkter Wolkenbildung und einer Erhöhung der Reflektivität der Wolken führen.

Wegen der inhomogenen Aerosolverteilung in der Atmosphäre (höhere Konzentrationen im Bereich industrieller Großräume wie Mitteleuropa) sind vor allem regionale Auswirkungen zu erwarten.

Auch die anderen Aerosole wirken sich auf das Klima aus, wobei hinsichtlich der verschiedenen Effekte größere Unsicherheiten als bei den Schwefelaerosolen bestehen. Besonders zu verweisen ist auf Ruß, der das sichtbare Licht absorbiert und dabei die Luft erwärmt. Darüber hinaus zeichnet er sich durch seine Toxizität aus.

I 1.2 Klimaänderungen und -wirkungen

Während der letzten Jahre wurden neue und robustere Befunde vorgelegt, die aufzeigen, dass der größte Teil der in den letzten 50 Jahren beobachteten Erwärmung menschlichen Aktivitäten zuzuordnen ist [3]. Sowohl aus dem Vergleich der beobachteten globalen Temperaturänderungen mit Modellsimulationen als auch detaillierten statistischen Untersuchungen langer globaler Temperaturreihen lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass die anthropogene Beeinflussung einen wesentlichen Faktor für die globale Erwärmung darstellt.

I 1.2.1 Globale Klimaänderungen

Klimaänderungen in den letzten 100 Jahren

Seit 1861, dem Beginn systematischer meteorologischer Aufzeichnungen, ist die globale mittlere Oberflächentemperatur um 0,7 (+/–0,2) °C angestiegen [3], [9]. (Abb. I 1.2.1-1).

Bis Mitte der 70er Jahre betrug die Erwärmungsrate 0,6 °C pro Jahrhundert, jedoch seit 1976 ist die Temperatur etwa drei mal schneller angestiegen [4].

Im 20. Jahrhundert trat auf der Nordhalbkugel die stärkste Erwärmung der letzten 1000 Jahre auf. Das Jahrzehnt von 1990–1999 stellt die bisher wärmste Dekade dar, wobei die zehn weltweit wärmsten Jahre seit Beginn der Messungen nach 1989 auftraten. In dieser Entwicklung war 1998 global das bislang wärmste Jahr, gefolgt von den Jahren 2002 und 2003 [5].

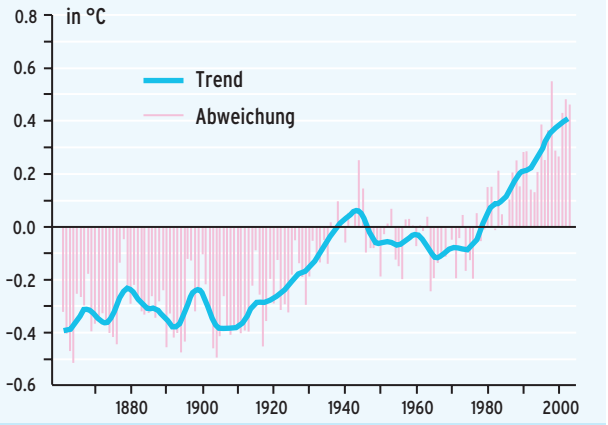
In den letzten 100 Jahren stieg der Meeresspiegel weltweit um etwa 0,1 bis 0,2 m an.

In Europa änderte sich im 20. Jahrhundert das Klima wie folgt: Die mittlere Lufttemperatur in Bodennähe stieg um 0,95 °C an. Die Wintertemperaturen (+1,1 °C) stiegen stärker als die Sommertemperaturen (+0,7 °C) an. Das Jahrzehnt von 1990–99 war das wärmste im 20. Jahrhundert.

Die Nachttemperaturen stiegen stärker als die Tagestemperaturen an, was wahrscheinlich auf zunehmende Bewölkung zurückzuführen ist.

In Nordeuropa erhöhten sich die Niederschläge um 10–40 %, während einige Gebiete Südeuropas um bis zu 20 % trockener wurden. In den meisten Teilen Europas sind die Veränderungen im Winter am stärksten [6].

Abb. I 1.2.1-1: *Abweichung des globalen Mittels der Lufttemperatur an der Erdoberfläche vom langfristigen Mittel (1961–1990) in den Jahren 1861–2003*



Quelle: *World Meteorological Organization 2003*

Zu erwartende Klimaänderungen bis 2100

Der anthropogene Treibhauseffekt verursacht Veränderungen im Klimasystem, deren Ausmaße und Auswirkungen wegen der vielfältigen komplexen Wechselwirkungen für die Zukunft nur durch Modellrechnungen nachgebildet werden können. Einige wesentliche zu erwartende Klimaänderungen des 21. Jahrhunderts [3] sind folgende:

- Bis zum Jahr 2100 wird ein Temperaturanstieg zwischen 1,4 und 5,8 °C befürchtet. Eine solche Temperaturänderung wäre größer als alle während der letzten Jahrhunderte beobachteten natürlichen Temperaturschwankungen. Sie erfolgen mit einer Schnelligkeit, wie sie in den letzten 10 000 Jahren nicht vorkam.
- Der Meeresspiegel reagiert wegen der großen Wärmeaufnahmekapazität langsamer auf den Klimawandel. Einmal eingetretene Veränderun-

gen werden sich dann aber über viele Jahrhunderte halten. Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts wird von einem Anstieg zwischen 10 und 90 cm ausgegangen.
- Viele Klimamodelle weisen außerdem auf dramatische Veränderungen bei den globalen und regionalen Niederschlägen hin. Bereits jetzt unter Wassermangel leidende Gebiete können noch trockener werden. Klimaforscher erwarten, dass meteorologische Extremereignisse zunehmen, mehr Starkniederschläge fallen, höhere Tagesmaxima der Temperaturen auftreten, weniger Frosttage auftreten, sich die Tagesamplituden der Temperatur verringern und Trockenperioden während des Sommers über den Kontinenten verstärkt auftreten.
- Einige Folgen des Klimawandels sind bereits zu beobachten, beispielsweise das Abtauen der Gletscher, Auftauen von Dauerfrostböden, früheres Einsetzen der Baumblüte und verändertes Brut- und Wanderungsverhalten von Vögeln. Diese Vorgänge stellen eine starke Beeinträchtigung der Stabilität von Ökosystemen dar.

Aussagen zu regionalen Auswirkungen sind schwieriger und mit größeren Unsicherheiten behaftet.

Aus Szenarienrechnungen werden für Europa folgende wesentliche Klimaänderungen abgeleitet:

- mittlere Temperaturzunahmen von 1990 bis 2100 um 2–6,3 °C , wobei die Erwärmung in Südeuropa (Spanien, Italien, Griechenland) und Nordosteuropa (Westen Russlands) am stärksten ausfällt [6],
- Zunahme heißer Sommer besonders in Südeuropa,
- weiterhin schnellere Erwärmung der Winter als der Sommer (mit Ausnahme von Südeuropa) [6],
- weit verbreitete Zunahme der jährlichen Niederschläge um 1–2 % pro Jahrzehnt in Nordosteuropa bei gleichzeitiger möglicher Abnahme der Niederschläge in Südeuropa um bis zu 1 % pro Jahrzehnt; im Sommer sind die Unterschiede zwischen Nord und Süd besonders ausgeprägt (Nordosteuropa: bis zu +2 % pro Jahrzehnt, Südeuropa: bis zu −5 % pro Jahrzehnt).

Insgesamt ist zu erwarten, dass vor allem der Süden Europas durch negative Effekte als Folge von Klimaänderungen betroffen sein wird, so dass besonders in mediterranen Regionen Wüstenbildung, Wasserknappheit und Waldbrände zunehmen werden.

Neben diesen allmählichen klimatischen Veränderungen könnten auch schnelle Änderungen im Klimasystem erfolgen, die als abrupte Klimaänderungen bezeichnet werden. Die Folge sind mit hohem Tempo ablaufende Klimaänderungen, die mit gravierenden Auswirkungen einhergehen. Anhand des heutigen Wissensstandes wird das Eintreten eines solchen Ereignisses für die nächsten Jahrzehnte als gering wahrscheinlich eingeschätzt. Das tatsächliche Risiko des Eintretens einer abrupten Klimaänderung lässt sich allerdings schwer einschätzen, da es sich um nichtlineare Prozesse handelt und die kritischen Grenzen nicht exakt bekannt werden können. Beispiele möglicher Ereignisse abrupter Klimaänderungen sind:

- Zusammenbruch der thermohalinen Zirkulation (Abbruch des Golfstroms) infolge Erwärmung oder Verdünnung des salzreichen Wassers im Nordatlantik,
- Zerfall des West-Antarktischen Eisschildes und damit einhergehender Meeresspiegelanstieg um einige Meter,
- beschleunigtes Abschmelzen des Grönländischen Eisschildes und damit Einleitung eines irreversiblen Abschmelzprozesses,
- steigendes Risiko des Auftauens von Permafrostböden und damit Freisetzung großer Methanmengen durch zunehmende Erwärmung,
- zusätzliche Freisetzung von Kohlendioxid und damit Verstärkung des Klimawandels durch großflächiges Absterben des Regenwaldes z. B. im Amazonasgebiet.

Um eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems zu verhindern, ist es erforderlich, die globale Temperaturerhöhung langfristig auf etwa 2° Celsius über dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen, wie beispielsweise der WBGU in seinem Sondergutachten zeigt [7]. Neuere wissenschaftliche Ergebnisse, wie sie auf einem IPCC-Workshop zur Klimasensitivität [8] vorgestellt wurden, weisen darauf hin, dass dieses Temperaturlimit mit hinlänglich großer Sicherheit nur unterschritten werden könnte, falls es gelänge, die Treibhausgaskonzentration bei 400 ppm CO_2-Äquivalenten zu stabilisieren. Um eine derartige Stabilisierung zu erreichen, ist es erforderlich, dass die globalen Emissionen noch höchstens 10 bis 20 Jahre steigen dürfen, um dann bis 2050 auf unter die Hälfte des heutigen Niveaus zu sinken. Nach dem Sondergutachten des WBGU [7] müssen deutliche Minderungen nicht nur von Kohlendioxid, sondern auch der anderen Treibhausgase (insbesondere von Methan und Lachgas sowie der fluorierten Verbindungen) und anderer indirekt klimawirksamer Stoffe (z.B. Ruß) erfolgen.

Auf der Basis einer fairen Lastenteilung ist für die Industrieländer von der Notwendigkeit einer Minderung der Treibhausgasemissionen um 80 % bis 2050 gegenüber 1990 auszugehen.

I 1.2.2 Klimatrends in Deutschland

Das Klimasystem unterliegt sowohl natürlichen als auch anthropogenen (von Menschen verursachten) Einflüssen. Natürliche Einflüsse sind beispielsweise Vulkanismus, Sonnenaktivität und Zirkulationsmechanismen der Atmosphäre und des Ozeans sowie ENSO (El Nino/Southern Oscillation) und NAO (Nordatlantikoszillation). Von der Klimaforschung wurden während der letzten Jahre neue und robustere Befunde vorgelegt, die zeigen, dass der größte Teil der in den letzten 50 Jahren beobachteten Erwärmung menschlichen Aktivitäten zuzuordnen ist [3].

Für das globale Klima ist der Nachweis einer anthropogenen Beeinflussung einfacher als im regionalen Bereich – wie für das Klima Deutschlands – zu erbringen. Ursache hierfür ist die größere Schwankungsbreite der Klimaparameter im regionalen Bereich, so dass der anthropogene Anteil nicht so deutlich erkennbar aus dem Bereich der natürlichen Klimaschwankungen hervortritt. Inzwischen sind signifikante Klimaänderungen ebenfalls im regionalen Bereich, so auch in Deutschland, anhand von Untersuchungen der Trends, der Jahresgänge oder auch der Extrema von Klimaparametern erkennbar. Die Basis der Untersuchungen bilden Rasterfelder der mittleren Tagesmitteltemperatur und der Niederschlagshöhe für alle Monate der Jahre seit 1901, die durch Interpolation aller jeweils vorhandenen Messdaten der Klima- und Niederschlagsstationen in Deutschland unter Berücksichtigung von Regressionsbeziehungen zur Topographie berechnet wurden. Hieraus wurden Zeitreihen der Gebietsmittel für Deutschland in den klimatologischen Jahreszeiten und im Jahr erstellt.

Trends der Lufttemperatur

Die letzten 10 Jahre des 20. Jahrhunderts waren sowohl in Deutschland als auch weltweit das wärmste Jahrzehnt des Jahrhunderts. Neun dieser Jahre und auch alle bisherigen Jahre des 21. Jahrhunderts lagen über dem langjährigen Durchschnitt (8,3 °C), sechs der 10 wärmsten Jahre fallen ebenfalls in diesen Zeitraum. Das wärmste Jahr seit 1901 war das Jahr 2000 (9,9 °C) (Abb. I 1.2.2-1).

Insgesamt ergab sich bei den Jahresmitteltemperaturen ein ansteigender Trend von 0,8 °C in 100 Jahren, der mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % statistisch signifikant ist (Tab. I 1.2.2-1). Dieser Anstieg ist allerdings nicht gleichmäßig über die Zeitreihe verteilt. Er beruht weitgehend auf einem Anstieg bis 1911 und einer sehr warmen Periode seit 1988.

Der Temperaturanstieg ist auch in den verschiedenen Jahreszeiten unterschiedlich.

Die Temperaturen im Frühling zeigen nur einen relativ schwachen, statistisch nicht signifikanten Anstieg. Auch hier waren die Jahre seit 1990 besonders warm. Fünf davon (in absteigender Reihenfolge: 2000, 1993, 1990, 1999, 2003) gehören zu den 10 wärmsten seit Beginn des 20. Jahrhunderts.

Der Sommer trägt erheblich mehr als der Frühling zum Trend der Jahresmitteltemperatur bei. Hier findet sich ein statistisch signifikanter Anstieg von rund 0,9 °C, der vor allem durch einen Temperaturanstieg seit 1955 verursacht wird. Seinen bisherigen Spitzenwert fand diese Entwicklung im „Jahrtausendsommer“ 2003, der um über 1 Grad wärmer als alle bisherigen Sommer seit 1901 war. In den Sommern ab 1990 lagen die Temperaturen nur 1993 und 1996 unter dem Durchschnitt. Fünf der 10 wärmsten Sommer traten in diesem Zeitraum auf (2003, 1994, 1992, 2002, 1997).

Der Herbst zeigt ebenfalls einen markanten, statistisch signifikanten Temperaturanstieg, der allerdings im Wesentlichen auf einer raschen Erwärmung von 1922 bis 1929 beruht. Seitdem sind die Herbsttemperaturen recht konstant.

Im Winter findet sich insgesamt kein stärkerer Trend. Die Zeitreihe ist durch eine Häufung besonders kalter Winter und das Fehlen sehr warmer Winter in der Mitte des 20. Jahrhunderts gekennzeichnet. Die Jahre ab 1990 waren allerdings auch hier wieder sehr mild. 11 dieser 15 Winter lagen über dem Durchschnitt. Vier davon (1989/1990, 1994/95, 1997/98 und 1999/2000) gehören zu den 10 wärmsten des Jahrhunderts.

Tab. I 1.2.2-1: *Lineare Trends der Lufttemperatur zwischen 1901 und 2003*

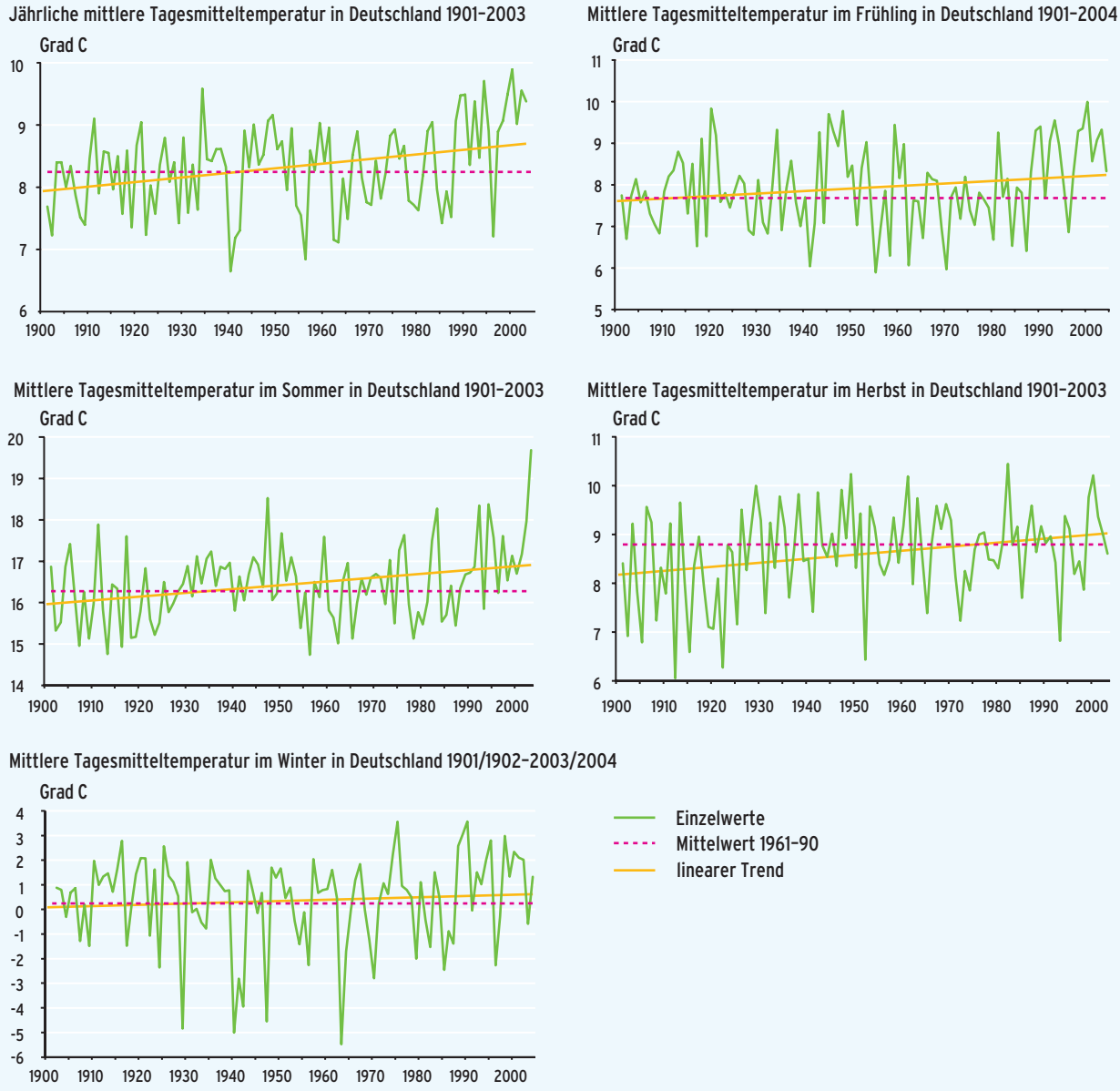
Kennzeichnung einer statistischen Signifikanz von mindestens 95 % durch Einfärbung	
Frühling (März, April, Mai)	0,6 °C
Sommer (Juni, Juli, August)	0,9 °C
Herbst (September, Oktober, November)	0,9 °C
Winter (Dezember, Januar, Februar)	0,5 °C
Jahr	0,8 °C

Quelle: *Deutscher Wetterdienst 2004*

Trends der Niederschlagshöhe

Die Zeitreihe der Gebietsmittel des jährlichen Niederschlags in Deutschland zeigt einen leichten Anstieg, der im Wesentlichen auf das Fehlen besonders niederschlagsreicher Jahre in den ersten 20 Jahren des 20. Jahrhunderts zurückzuführen ist. In den Jahren seit 1990 gehörten allerdings 2002, 2001, 1993 und 1994 zu den 10 niederschlagreichsten seit 1901.

Abb. I 1.2.2-1: *Tagesmitteltemperatur in Deutschland*



Quelle: *Deutscher Wetterdienst 2004*

Wie bei der Temperatur ist dieser Trend nicht gleichmäßig über die Jahreszeiten verteilt. Er beruht im Wesentlichen auf einer Zunahme der Winterniederschläge. Frühling und Herbst zeigen ebenfalls leichte zunehmende Trends, während im Sommer ein schwacher Rückgang der Niederschläge zu beobachten ist.

Wegen der steigenden Temperaturen dürfte auch der Wasserdampfgehalt in der Atmosphäre zunehmen. Deshalb ergeben die Modellrechnungen meist eine Intensivierung des Wasserkreislaufs mit höheren Niederschlägen. Sichere Aussagen zu regionalen und jahreszeitlichen Unterschieden sind jedoch noch nicht möglich (Tab. I 1.2.2-2 und Abb. I 1.2.2-2).

Tab. I 1.2.2-2: *Lineare Trends der Niederschlagshöhe zwischen 1901 und 2003*

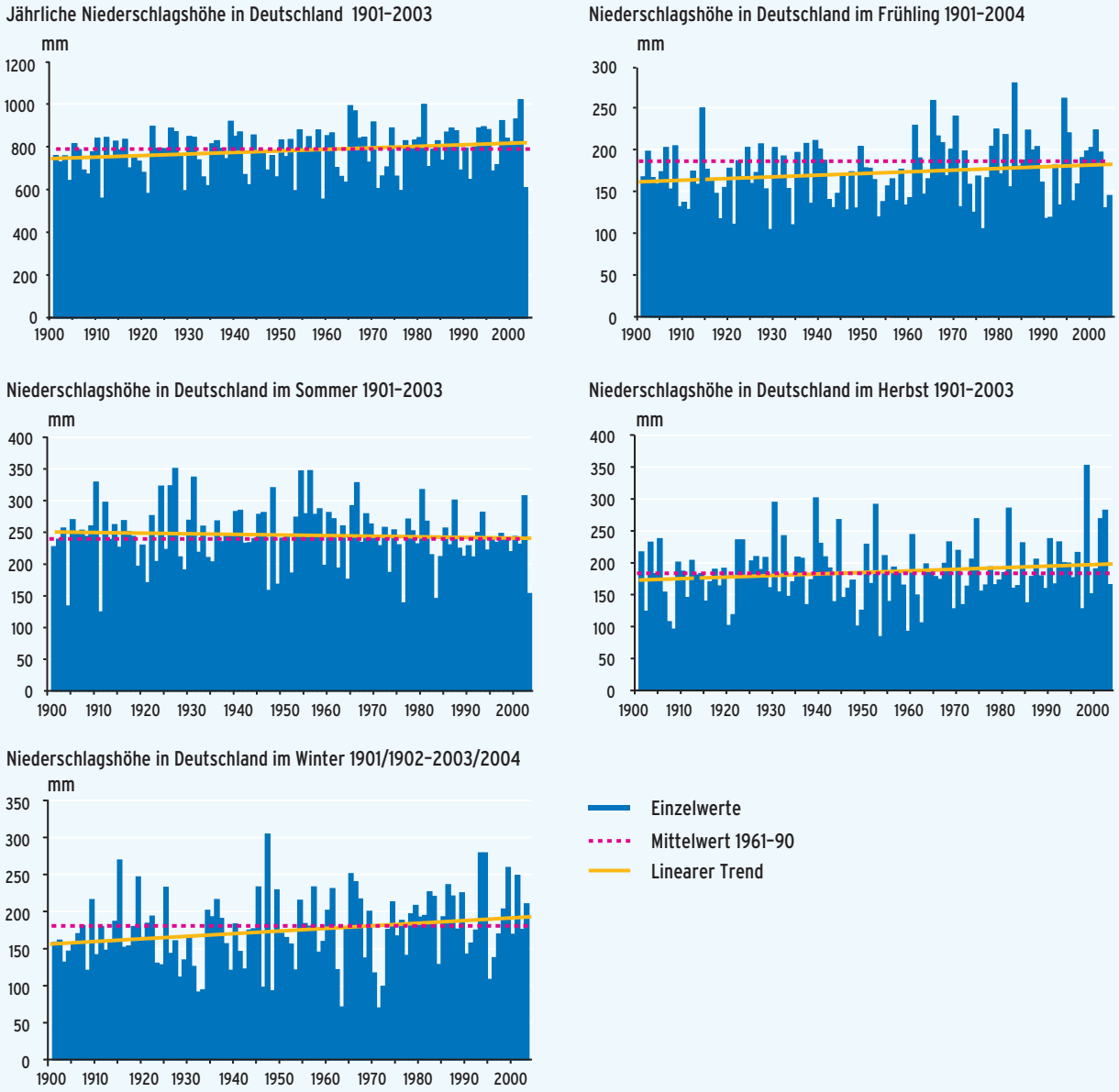
Kennzeichnung einer statistischen Signifikanz von mindestens 95 % durch Einfärbung	
Frühling (März, April, Mai)	+21 mm
Sommer (Juni, Juli, August)	−9 mm
Herbst (September, Oktober, November)	+25 mm
Winter (Dezember, Januar, Februar)	+37 mm
Jahr	+76 mm

Quelle: *Deutscher Wetterdienst 2004*

Klimawirkungen auf Flora und Fauna

Die Klimaänderung in Deutschland und Europa ist inzwischen so signifikant, dass erste Wirkungen auf Flora und Fauna zu erkennen sind. Beispielsweise blühen Schneeglöckchen und Apfelbäume früher (fast 5 Tage/Jahrzehnt), Waldbäume treiben in vielen Ländern Europas eher aus (ca. 5 Tage/Jahrzehnt), und die Aufenthaltsdauer vieler Singvögel liegt fast einen Monat über der des Jahres 1970. Dies sind Belege dafür, dass aus einem veränderten Temperaturniveau eine Änderung der Eintrittszeit und Dauer der einzelnen Jahreszeiten resultiert.

Abb. I 1.2.2-2: *Mittlere jährliche Niederschlagshöhe in Deutschland*



Quelle: *Deutscher Wetterdienst 2004*

Die phänologische Frühlingsphase verschiebt sich nach vorn. Im Herbst hat sich hingegen noch kein größerer Trend zu einer Verspätung der phänologischen Phasen ergeben. Im Gegensatz zu den Frühjahrsphasen, deren Eintritt weitgehend von der Temperatur bestimmt wird, sind die Zusammenhänge mit klimatologischen Parametern im Herbst schwächer und komplexer. Neben der Temperatur gewinnt hier auch der Niederschlag der Sommermonate an Bedeutung, und nichtklimatologische Einflüsse wie das Auftreten von Pflanzenkrankheiten und Schädlingsbefall spielen ebenfalls eine wichtige Rolle (Abb. I 1.2.2-3).

[1] Harnisch, J. et. al.: Tropospheric Trends for CF_4 and C_2F_6 since 1982 derived from SF_6 dated stratospheric air. Geophysical Research Letters 23, 1996

[2] Oram, D. E. et. al.: Atmospheric measurements and emissions of HFC-23 (CHF_3). Geophysical Research Letters 25, 1998

[3] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Third Assessment Report TAR, 2001

[4] World Meteorological Organisation (WMO), Press Release, WMO-No 702, 2003

[5] Parry, M. L. (Hrsg.): Assessment of Potential Effects and Adaptations for Climate Change in Europe. Summary and Conclusions. The Europe Acacia Project. Jackson Environment Institute, University of East Anglia, Norwich, United Kingdom, 2000

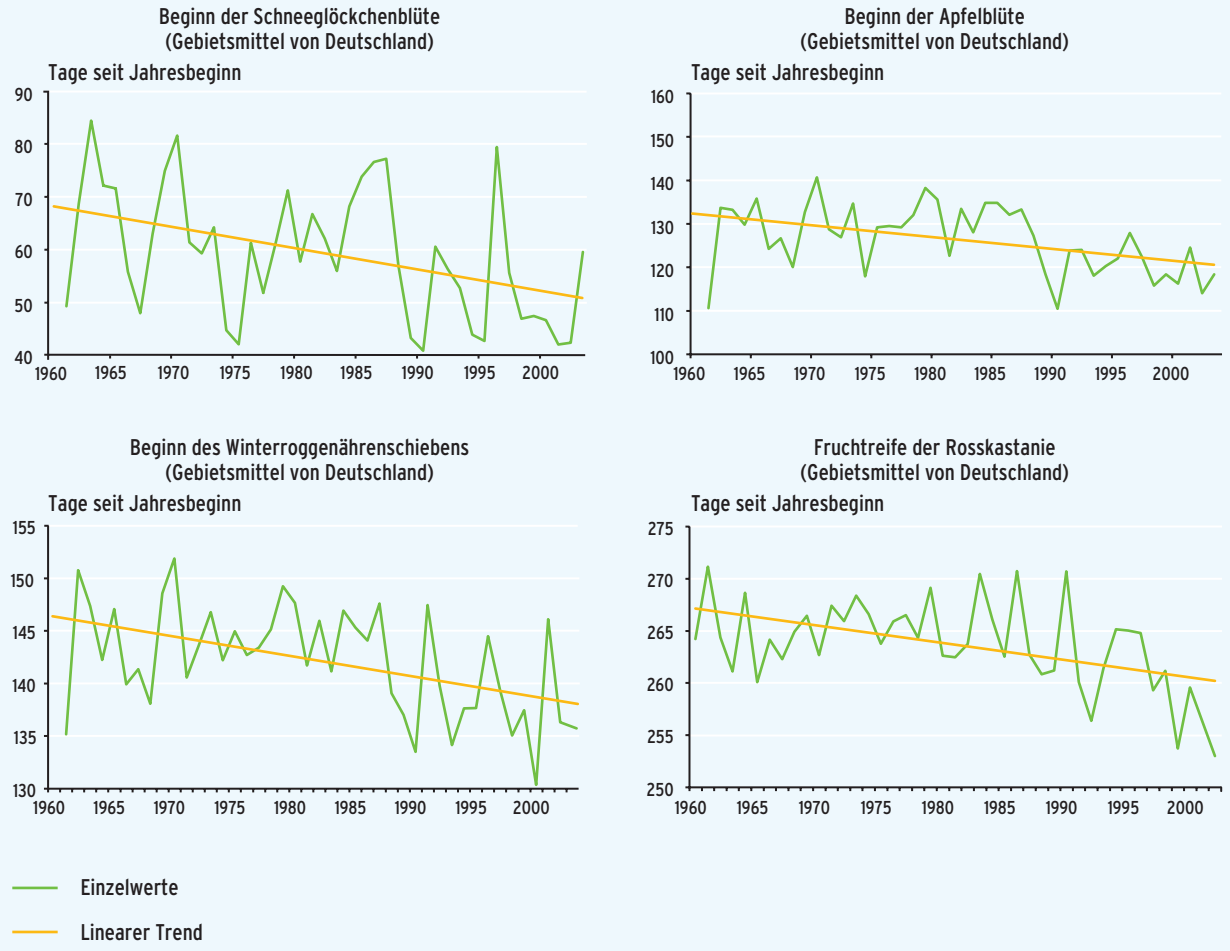
[6] EEA Report No 2/2004

[7] Sondergutachten 2003 des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU): Über Kyoto hinaus denken – Klimaschutzstrategien für das 21. Jahrhundert

[8] IPCC Working Group I: Workshop on Climate Sensitivity. Ecole Normale Superieur; Paris, France, 26–29. July 2004, Workshop Report, September 2004, Boulder, Colorado, USA (http://ipcc-wg1.ucar.edu/meeting/CSW/product/CSW_Report.pdf)

[9] WMO statement on the status of global climate in 2003; Climatic Research Unit, University of East Anglia and Hadley Centre, The Met Office, UK

Abb. I 1.2.2-3: *Eintritt phänologischer Phasen in Deutschland*



Quelle: *Deutscher Wetterdienst 2004*

I 2 Emissionen der Treibhausgase

Zur Quantifizierung der Klimawirksamkeit der verschiedenen Treibhausgase werden die freigesetzten Mengen nach ihrem unterschiedlich hohen klimawirksamen Potenzial gewichtet.

Als Wichtungsgröße wird das sogenannte GWP (Global Warming Potential) verwendet. Bei der Berechnung dieser Größe werden hauptsächlich die Absorption von Wärmestrahlung in Abhängigkeit von der Wellenlänge und die Verweilzeit des jeweiligen Gases in der Atmosphäre berücksichtigt. Der GWP-Wert von CO_2, das hier die Referenzsubstanz darstellt, wird gleich Eins gesetzt (Tab. I 2-1).

I 2.1 Globale Entwicklungen

I 2.1.1 Charakteristika und Emissionen der wichtigsten Treibhausgase

Die Beiträge emissionsverursachender Prozesse zum anthropogenen Treibhauseffekt werden global wie folgt geschätzt: Verbrennung fossiler Energieträger ca. 50 %, chemische Industrie (FCKW, FKW und Halone) etwa 20 %, Waldvernichtung und -abholzung ca. 15 %, Landwirtschaft und andere Bereiche (Methan durch Rinderhaltung, Reisanbau und Mülldeponien; Lachgas durch Düngung) etwa 15 %.

Kohlendioxid (CO_2)

Das mengenmäßig wichtigste klimawirksame Gas ist Kohlendioxid (CO_2). Durch energiebedingte anthropogene Aktivitäten gelangen nach Berechnungen der Internationalen Energieagentur (IEA) weltweit jährlich über 23 Mrd. t CO_2 in die Atmosphäre [1]. Diesen Emissionsberechnungen liegen IEA-eigene Berechnungsmethoden auf der Basis des Primärenergieverbrauchs zugrunde. Da hier eine nicht-länderspezifische Methode verwendet wurde, treten Abweichungen zu den von den Mitgliedstaaten selbst errechneten Daten auf (Tab. I 2.1.1-1 und Abb. I 2.1.1-1).

Wichtigste Senke von CO_2 ist der Ozean. In der terrestrischen Biosphäre, vor allem in Wäldern, werden durch die Photosynthese Kohlenstoffmengen in der Größenordnung von 120 Mrd. t jährlich aus der Atmosphäre aufgenommen und durch mikrobielle

Tab. I 2-1: *Im Rahmen der UNFCCC-Berichterstattung zu verwendende GWP-Werte der wichtigsten klimawirksamen Gase*[1)]

	Chemische Formel	atmosphärische Verweilzeit in Jahren	GWP-Wert
Kohlendioxid	CO_2	Variabel	1
Methan[2), 3)]	CH_4	12	23
Lachgas[3)]	N_2O	114	296
Wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe			
H-FKW – 23	CHF_3	260	12 000
H-FKW – 32	CH_2F_2	5	550
H-FKW – 41	CH_3F	2,6	97
H-FKW – 43 – 10mee	$CF_3CHFCHFCF_2CF_3$	15	1 500
H-FKW – 125	CHF_2CF_3	29	3 400
H-FKW – 134	CHF_2CHF_2	9,6	1100
H-FKW – 134a	CH_2FCF_3	13,8	1 300
H-FKW – 152	CH_2FCH_2F	0,5	43
H-FKW – 152 a	CH_3CHF_2	1,4	120
H-FKW – 143	CHF_2CH_2F	3,4	330
H-FKW – 143 a	CF_3CH_3	52	4 300
H-FKW – 161	CH_3CH_2F	0,3	12
H-FKW – 227ea	CF_3CHFCF_3	33	3 500
H-FKW – 236cb	$CH_2FCF_2CF_3$	13,2	1 300
H-FKW – 236ea	CHF_2CHFCF_3	10	1 200
H-FKW – 236fa	$CF_3CH_2CF_3$	220	9 400
H-FKW – 245ca	$CH_2FCF_2CHF_2$	5,9	640
H-FKW – 245fa	$CHF_2CH_2CF_3$	7,2	950
H-FKW – 365mfc	$CF_3CH_2CF_2CH_3$	9,9	890
Perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe			
FKW – 14	CF_4	50 000	5 700
FKW – 116	C_2F_6	10 000	11 900
FKW – 218	C_3F_8	2 600	8 600
FKW – 31 – 10	C_4F_{10}	2 600	8 600
FKW 41 – 12	C_5F_{12}	4 100	8 900
FKW – 51 – 14	C_6F_{14}	3 200	9 000
FKW – 318	$c\text{-}C_4F_8$	3 200	10 000
Schwefelhexafluorid	SF_6	3 200	22 200
Fluorierte Ether			
HFE – 125	CHF_2OCF_3	150	14 900
HFE – 134	CHF_2OCHF_2	26,2	6 100
HFE – 143a	CH_3OCF_3	4,4	750
HFE – 235da2	$CHF_2OCHClCF_3$	2,6	340
HFE – 245fa2	$CHF_2OCH_2CF_3$	4,4	570
HFE – 254cb2	$CH_3OCF_2CHF_2$	0,22	30
HFE –7100	$C_4F_9OCH_3$	5	390
HFE – 7200	$C_4F_9OC_2H_5$	0,77	55
H-Galden 1040x	$CHF_2OCF_2OC_2F_4OCHF_2$	6,3	1 800
HG – 10	$CHF_2OCF_2OCHF_2$	12,1	2 700
HG – 01	$CHF_2OCF_2CF_2OCHF_2$	6,2	1 500

UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change (Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen)
[1)] Massenbezogen und bezogen auf einen Zeithorizont von 100 Jahren; (typischer Unsicherheitsbereich lt. IPCC ± 35 %)
[2)] Der GWP-Wert von Methan enthält indirekte Effekte der troposphärischen Ozonbildung und der stratosphärischen Wasserdampfbildung
[3)] Die Werte der Verweilzeiten für Methan und Lachgas enthalten die indirekten Effekte der Emissionen dieser Gase

Quelle: *Intergovernmental Panel for Climate Change 2001*

Zersetzung wieder an diese abgegeben. Bei gleichbleibender Vegetation sind die aufgenommenen und abgegebenen CO_2-Mengen etwa gleich groß. Die großflächige Zerstörung von Wäldern führt hingegen zu massiven CO_2-Emissionen. Stickstoffdepositionen, CO_2-Düngewirkung und Bewirtschaftungsmaßnahmen hingegen erhöhen vor allem in den Industriestaaten die Menge des in Biomasse festgelegten CO_2. Diese Vorgänge führen sogar zu einer Nettoaufnahme von CO_2 von etwa 2,57 +/–3,67 Gt CO_2 a^{-1}.

Methan (CH_4)

Die weltweit anthropogen emittierten CH_4-Mengen werden im IPCC-Bericht von 2001 für das Jahr 2001 auf 347 Mio. t geschätzt, dies entspricht einem Anteil am anthropogenen Treibhauseffekt von rund 20 %. Es entsteht dort, wo organisches Material unter anaeroben Bedingungen abgebaut wird. Die größten Methanmengen natürlichen Ursprungs stammen aus Feuchtgebieten (Sumpfgas). Die we-

Tab. I 2.1.1–1: *Energiebedingte CO_2-Emissionen weltweit*

	Emission 1990	Emission 2001	Veränderung 2001 gegenübr 1990	Anteil an der weltweiten Emission 2001	Emission 2001 pro Einwohner	Emission 2001 durch Primär-energie-verbrauch
	Mio.t	Mio.t	%	%	t/EW	t/TJ
OECD	**11 012**	**12 511**	**+ 13,6**	**52,8**	**11,0**	**56,1**
Kanada	430	520	+ 20,9	2,2	16,7	49,9
Mexiko	292	359	+ 22,9	1,5	3,6	56,4
USA	4 826	5 673	+ 17,6	24,0	19,8	59,5
Japan	1 019	1 132	+ 11,1	4,8	8,9	51,8
Korea	226	436	+ 92,9	1,8	9,2	53,5
Australien	260	370	+ 42,3	1,6	19,0	76,4
Neuseeland	22	33	+ 50,0	0,1	8,5	43,0
Österreich	57	67	+ 17,5	0,3	8,2	51,8
Belgien	107	120	+ 12,1	0,5	11,6	48,5
Tschechische Republik	154	119	–22,7	0,5	11,6	68,5
Dänemark	51	51	0,0	0,2	9,4	60,9
Finnland	55	60	+ 9,1	0,3	11,6	42,5
Frankreich	353	385	+ 9,1	1,6	6,3	34,6
Deutschland[1]	**964**	**850**	**–11,8**	**3,6**	**10,3**	**57,8**
Griechenland	71	90	+ 26,8	0,4	8,2	75,0
Ungarn	71	56	–21,1	0,2	5,5	53,0
Island	2	2	0,0	0,0	7,2	15,0
Irland	30	43	+ 43,3	0,2	11,2	68,8
Italien	400	425	+ 6,3	1,8	7,3	59,0
Luxemburg	11	8	–27,3	0,0	19,1	52,5
Niederlande	157	178	+ 13,4	0,8	11,1	54,9
Norwegen	29	38	+ 31,0	0,2	8,4	34,2
Polen	344	293	–14,8	1,2	7,6	77,1
Portugal	40	59	+ 47,5	0,2	5,9	57,1
Slowakische Republik	56	39	–30,4	0,2	7,3	50,2
Spanien	207	286	+ 38,2	1,2	7,1	53,5
Schweden	51	48	–5,9	0,2	5,4	22,5
Schweiz	42	44	+ 4,8	0,2	6,1	37,3
Türkei	129	188	+ 45,7	0,8	2,7	61,9
Vereinigtes Königreich	560	541	–3,4	2,3	9,2	54,9
Europa (Nicht–OECD)	387	254	–34,4	1,1	4,4	61,1
Afrika	541	720	+ 33,1	3,0	0,9	33,4
Asien	1 254	2 179	+ 73,8	9,2	1,1	45,1
VR China[2]	2 290	3 113	+ 35,9	13,1	2,4	64,2
Ex–UdSSR	3 345	2 240	–33,0	9,5	7,8	57,1
Lateinamerika	599	842	+ 40,6	3,6	2,0	44,7
Mittlerer Osten	585	1 045	+ 78,6	4,4	6,2	64,0
Welt[3]	**20 652**	**23 684**	**+ 14,7**	**100,0**	**3,9**	**56,4**

[1] Abweichungen von Angaben der Bundesregierung aufgrund IEA–eigenen Berechnungsverfahrens
[2] Einschließlich Hong Kong
[3] Ohne internationalen Verkehr (758,2 Mio. t)

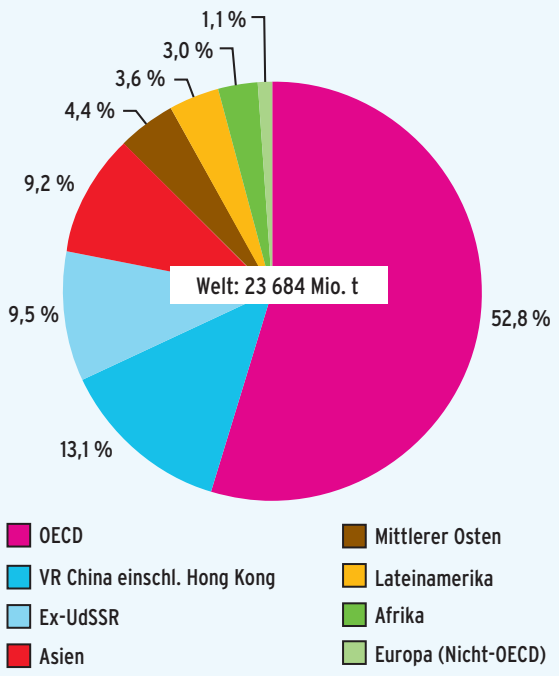
Quelle: *International Energy Agency 2003*

sentlichen anthropogenen Quellen sind Reisanbau, Viehhaltung, Erdöl-/Erdgas-Förderung und -Verteilung, Bergbau und Deponien. Die wichtigste Abbaureaktion von Methan stellt die Umsetzung mit photochemisch in der Atmosphäre gebildeten OH-Radikalen zu CO_2 und H_2O dar.

Distickstoffoxid, Lachgas (N_2O)

Die weltweiten jährlichen N_2O-Emissionen werden im IPCC-Bericht von 2001 auf etwa 6,9 Mio. t geschätzt, dies entspricht einem Anteil am anthropogenen Treibhauseffekt von etwa 6 %. Mikrobielle Umsetzungen von Stickstoffverbindungen in den Böden, die sowohl natürlichen als auch anthropogenen Ursprungs (Hauptquelle: Stickstoffdüngung) sein können, sind global die wichtigsten Quellen für N_2O. Stickstoffverbindungen werden in Böden direkt oder auch über den Wasser- und Luftpfad eingetragen. Ein direkter Eintrag von N_2O durch die Industrie in die Atmosphäre erfolgt in der Hauptsache durch Emission von N_2O bei der Adipinsäureherstellung (Adipinsäure: Grundstoff bei der Kunststoffherstellung, Lösemittel, Weichmacher) und in geringerem Umfang durch den Verkehr bei der katalytischen Reinigung von

Abb. I 2.1.1-1: *Anteile an den energiebedingten CO_2-Emissionen weltweit*



Quelle: *International Energy Agency 2003*

Kraftfahrzeugabgasen. Photochemische Prozesse bauen das N_2O im Wesentlichen erst in der Stratosphäre ab.

Fluorierte Verbindungen

Zu den fluorierten treibhauswirksamen Verbindungen zählen neben den im Montreal-Protokoll geregelten Halonen, den voll- und teilhalogenierten Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW und H-FCKW) auch deren chlorfreie Ersatzstoffe, die halogenierten Kohlenwasserstoffe H-FKW, perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW) und Schwefelhexafluorid (SF_6).

FCKW, H-FCKW, Halone und H-FKW sind ausschließlich anthropogenen Ursprungs. Sie wurden und werden zum Teil noch beim Einsatz von Sprays (Treibgas), aus Schaum- und Dämmstoffen, aus Kühlgeräten und Kälteanlagen (Kältemittel) sowie aus Feuerlöschgeräten emittiert. Darüber hinaus werden größere Mengen des H-FKW 23 als Nebenprodukt der H-FCKW 22-Produktion freigesetzt.

Die Hauptquellen für die Emissionen von FKW (hier vor allem CF_4, C_2F_6 und C_3F_8) sind die Elektrolyse in der Primäraluminiumherstellung und die Halbleiterproduktion. SF_6-Emissionen gehen vor allem auf Anwendungen dieses Gases in der Nichteisen-Metallproduktion, seinen Einsatz in gasisolierten elektrischen Schaltanlagen und in Schallschutzfenstern zurück.

Die Klimawirksamkeit der fluorierten Verbindungen ist wegen hoher spezifischer Absorptionen im infraroten Bereich und teilweise sehr langen atmosphärischen Lebensdauern im Vergleich zu CO_2, CH_4 und N_2O sehr hoch. Diese Tatsache reflektierend, wurden die nicht im Montreal-Protokoll geregelten H-FKW, FKW und SF_6 im Jahre 1997 in das Kyoto-Protokoll aufgenommen, welches Emissionsreduktionen für klimarelevante Gase vorschreibt.

Die Emissionen der H-FKW, welche seit Anfang der 90er Jahre als FCKW-Substitute verwendet werden, haben in den vergangenen Jahren rapide zugenommen. So stiegen die globalen H-FKW 134a-Emissionen zwischen 1990 und 1996 von nahezu Null auf etwa 32 000 t. Die aus der H-FCKW-Produktion stammenden H-FKW 23-Emissionen betrugen 1995 weltweit etwa 7 300 t. Aus Messungen der gleichfalls ansteigenden atmosphärischen FKW-Konzentrationen konnten die FKW-Emissionen berechnet werden: 1995 wurden weltweit etwa 10 500 t CF_4, 2 000 t C_2F_6, 700 t C_3F_8 und 1 000–2 000 t c-C_4F_8 freigesetzt [2].

Ebenfalls aus atmosphärischen Messungen wurden die globalen SF_6-Emissionen bestimmt: 1996 wurden weltweit etwa 6 300 t SF_6 in die Atmosphäre emittiert.

Da ein Großteil der produzierten H-FKW- und SF_6-Mengen in mehr oder weniger geschlossenen Anlagen (Kühlgeräte, Schäume, elektrische Schaltanlagen usw.) zum Einsatz kommen, werden diese gebunkerten Mengen erst mit einer Zeitverzögerung von bis zu 50 Jahren emittiert. Werden diese Mengen am Ende der Nutzungsdauer der Geräte und Anlagen nicht aufgefangen und zerstört oder wiederverwendet, bergen sie ein erhebliches Emissionspotenzial.

I 2.1.2 Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen zur Minderung der Treibhausgas-Emissionen

Seit der „Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung“ von 1992 in Rio de Janeiro haben über 180 Staaten die Klimarahmenkonvention unterzeichnet und damit die Basis für einen globalen Klimaschutz geschaffen.

Laut Artikel 2 besteht das Ziel dieser Rahmenkonvention darin, *„...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 soll innerhalb eines Zeitraumes erreicht werden, der ausreicht, dass 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". Die Klimarahmenkonvention gibt den Industrieländern die Rückführung der Emissionen von Kohlendioxid und anderer im Montrealer Protokoll nicht geregelter Treibhausgase bis zum Jahr 2000 auf das Niveau von 1990 vor. Dieses Ziel wurde erreicht.

Zentrales Anliegen aller bisherigen Vertragsstaatenkonferenzen (VSK) war die Fortentwicklung der Verpflichtungen zum Schutz des Klimas. Daher wurde bereits bei der 1. VSK (1996) das Berliner Mandat beschlossen, das die Ermächtigung für Verhandlungen zur Erreichung einer vertraglichen Regelung erteilte. Diese wurde bei der 3. VSK (1997) als Protokoll von Kyoto erreicht. Darin verpflichten sich die entwickelten Länder, die gemeinsamen Emissionen der sechs wichtigsten Treibhausgase (CO_2, CH_4, N_2O, H-FKW, FKW und SF_6) in ihrer Summe um mindestens 5 % bis zum Zeitraum 2008–2012 gegenüber dem Basisjahr 1990 bzw. 1995 zu verringern. Seit der 3. VSK zielten die Verhandlungen auf die Konkretisierung der Bestimmungen. Im Einzelnen ging es hierbei um Instrumente, welche die Zielerreichung sowie deren Überwachung erleichtern sollen.

Mit den „Marrakesh Accords" (7. VSK) wurde ein Durchbruch erzielt. 178 Länder erreichten Einverständnis über die Durchführungsbestimmungen des Kyoto-Protokolls. Damit das Abkommen in Kraft treten kann, musste es von mindestens 55 Staaten ratifiziert werden, die ihrerseits mindestens 55 % der Treibhausgasemissionen der Industrieländer im Jahre 1990 auf sich vereinigen müssen. Mit Russland haben 150 Staaten (Stand 29.04.2005), darunter Deutschland, die zusammen über 60 % der Treibhausgasemissionen der Industrieländer umfassen, das Kyoto-Protokoll ratifiziert. Am 16. Februar 2005 trat das Kyoto-Protokoll verbindlich in Kraft.

Die USA als Hauptemittent der Treibhausgase lehnen das Kyoto-Protokoll ab.

Die Kosten für die Erschließung von Emissionsminderungspotenzialen sind von Staat zu Staat höchst unterschiedlich. Diesem Problem tragen die flexiblen Mechanismen des Kyoto-Protokolls Rechnung. Im Rahmen des am 1. Januar 2005 auf EU-Ebene begonnenen Emissionshandels können durch die Umsetzung der Linking Directive auch Zertifikate durch emissionsmindernde Projekte im Rahmen des Clean Development Mechanism und von Joint Implementation, also durch außerhalb der EU-Grenzen durchgeführte Projekte, generiert werden. Zur Nutzung der Kyoto-Mechanismen sind nur Staaten zugelassen, die das Kyoto-Protokoll ratifiziert haben und bis spätestens zum 1. Januar 2007 die methodologischen und inhaltlichen Anforderungen an den Aufbau eines Nationalen Systems und die Berichterstattung im Rahmen ihrer internationalen Treibhausgas-Inventare erfüllen.

Zu diesen Instrumenten gehören der internationale Emissionshandel (Kap. I 6), die „Gemeinsame Umsetzung" (Joint Implementation, JI) und der „Mechanismus für umweltgerechte Entwicklung" (Clean Development Mechanism, CDM).

Durch den internationalen Emissionshandel soll erreicht werden, dass die Emissionen dort gemindert werden, wo dies am kostengünstigsten möglich ist.

Das zugrunde liegende Prinzip bei JI und CDM ist gleich: Ein Investor führt in einem Gastland ein Projekt durch, das die Emissionen mindert und erhält dafür Emissionsgutschriften. Die gemeinsame Umsetzung sieht Projekte zwischen Industriestaaten vor, während der Mechanismus für umweltgerechte Entwicklung gemeinsame Projekte von Industriestaaten und Entwicklungsländern betrifft. Voraussetzung für eine Generierung von Emissionsgutschriften ist, dass die Emissionsreduktionen zusätzlich zu Maßnahmen stattfinden, die auch ohne das Projekt erfolgt wären. Dieses wird anhand eines Referenzszenarios und gegebenenfalls weiterer Kriterien überprüft. Das Referenzszenario gibt an, welche Emissionen ohne die Durchführung des Projekts entstanden wären.

Mit den Beschlüssen von Kyoto und Marrakesch haben die Vereinten Nationen erstmals absolute und rechtlich bindende Mengenbegrenzungen der Treibhausgasemissionen vereinbart. Wichtig ist, dass im Kyoto-Protokoll die Fortschreibung der Verpflichtungen bereits angelegt ist.

I 2.2 Entwicklungen in der Europäischen Union (EU-15)

I 2.2.1 Emissionen der Treibhausgase

Die Europäische Union ist mit etwa 15 % an den weltweiten energiebedingten CO_2-Emissionen beteiligt. Insgesamt reduzierten die europäischen Staaten in den Jahren zwischen dem rechnerischen Basisjahr und 2002 die Gesamtemissionen der sechs im Kyoto-Protokoll genannten Treibhausgase (CO_2, CH_4, N_2O, HFCs, PFCs, SF_6) um 2,9 %.

Nach für die Europäische Kommission durchgeführten Schätzungen emittierten die EU-Mitgliedstaaten im Jahre 2002 etwa 64 Mio. t H-FKW, FKW und SF_6 in CO_2-Äquivalenten. Etwa 78 % davon entfielen auf die H-FKW, 14 % auf SF_6. Bis 2010 werden die Emissionen

dieser Stoffe Projektionen zufolge um 75 % auf insgesamt etwa 117 Mio. t in CO_2-Äquivalenten steigen, was vor allem auf zunehmende H-FKW-Emissionen zurückzuführen ist (Tab. I 2.2.1-1, Abb. I 2.2.1-1 und Abb. I 2.2.1-2, sowie Tab. „Treibhausgasemissionen in der EU-15“ und Tab. „Treibhausgasemissionen der Verusachersektoren in der EU).

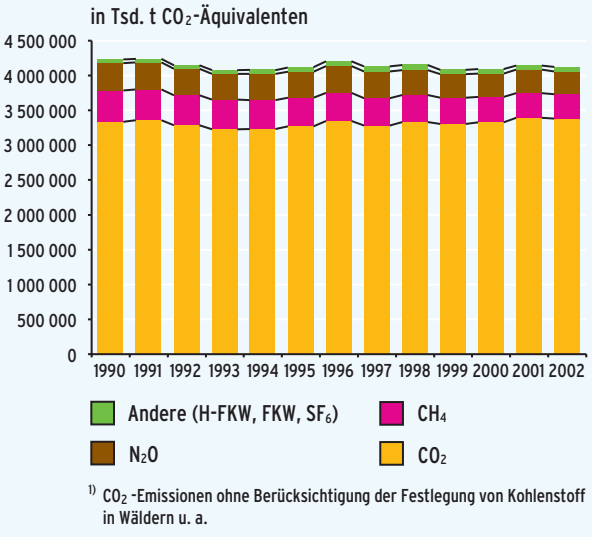
Tab. I 2.2.1-1: *Treibhausgasemissionen der Mitgliedstaaten der EU-15 in Mio. t CO_2-Äquivalenten*[1)]

	1990	1995	2000	2002
Österreich	78	79	81	85
Belgien	146	155	150	150
Dänemark	69	77	68	68
Finnland	77	76	75	82
Frankreich	565	560	558	554
Deutschland	**1 249**	**1 101**	**1 016**	**1 016**
Griechenland	105	110	130	135
Irland	53	58	68	69
Italien	509	525	544	554
Luxemburg	13	10	10	11
Niederlande	211	225	213	214
Portugal	58	67	78	82
Spanien	285	316	385	400
Schweden	72	74	68	70
Vereinigtes Königreich	743	686	648	635
EU-15	**4 231**	**4 119**	**4 090**	**4 123**

[1)] Ohne Berücksichtigung der Festlegung von Kohlenstoff in Wäldern u. a.; Abweichung der Daten für Deutschland von Angaben der Bundesregierung aufgrund des hier verwendeten Sachstandes

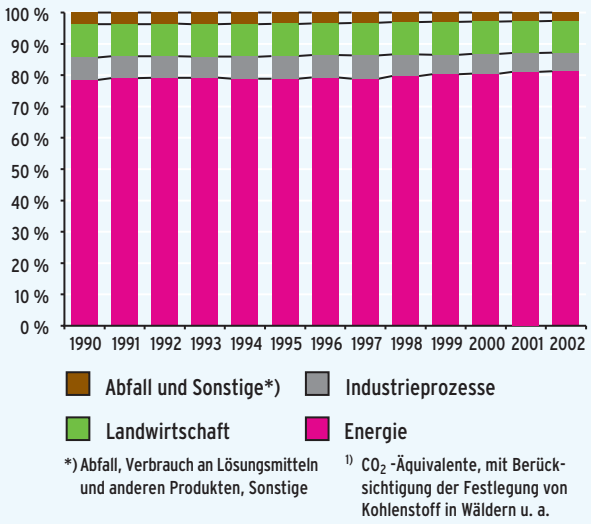
Quelle: *Europäische Umweltagentur 2004*

Abb. I 2.2.1-1: *Treibhausgasemissionen in der Europäischen Union (EU-15)*[1)]



Quelle: *Europäische Umweltagentur 2004 a*

Abb. I 2.2.1-2: *Treibhausgasemissionen der wichtigsten Verursachersektoren in der Europäischen Union (EU-15)*[1)]



Quelle: *Europäische Umweltagentur 2004 a*

I 2.2.2 Reduktionsziele und Maßnahmen in der Europäischen Union

Ausgehend von Artikel 2 der Klimarahmenkonvention (Abschn. I 2.1.2) konkretisierte 1996 erstmals der Umweltrat die Definition einer „gefährlichen anthropogenen Störung“, mit dem Ziel, die globale Temperaturerhöhung auf 2 °Celsius zu begrenzen. Dieses Ziel wurde inzwischen mehrfach bestätigt, so auch im März 2005 vom Umweltrat und vom Europäischen Rat.

Vor diesem Hintergrund verpflichtete sich die Europäische Union auf der Basis des Protokolls von Kyoto zu einer Emissionsminderung der sechs Treibhausgase CO_2, CH_4, N_2O, H-FKW, FKW und SF_6 um 8 % gegenüber 1990 bis zum Zeitraum 2008–2012. Die Beiträge (Minderung oder Begrenzung des Anstiegs der Emissionen) der Mitgliedstaaten wurden im „burden sharing“ (Lastenausgleich) wie folgt vereinbart:

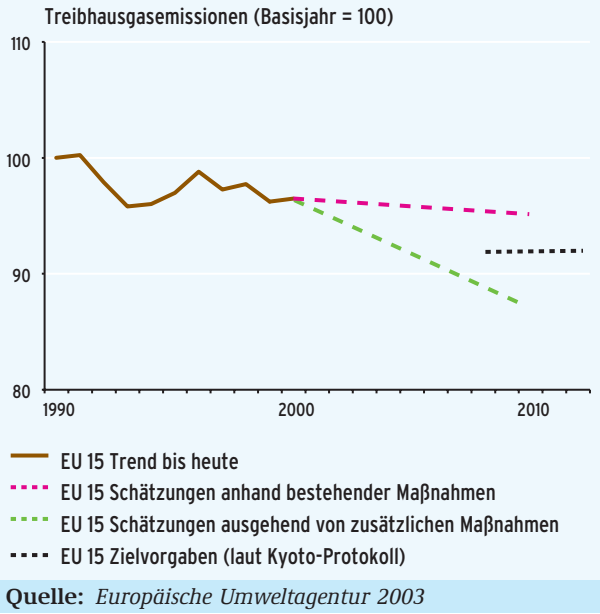
Belgien	– 7,5 %
Dänemark	– 21,0 %
Deutschland	– 21,0 %
Finnland	0 %
Frankreich	0 %
Griechenland	25,0 %
Großbritannien	– 12,5 %
Irland	13,0 %
Italien	– 6,5 %
Luxemburg	– 28,0 %
Niederlande	– 6,0 %
Österreich	– 13,0 %
Portugal	27,0 %
Schweden	4,0 %
Spanien	15,0 %
EU Gesamt	**– 8,0 %**

Die Europäische Umweltagentur führt im Bericht „Analysis of greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2004“ [3] vom Dezember 2004 aus, dass die von den EU-Mitgliedstaaten (EU-15) bislang ergriffenen Maßnahmen zur Senkung ihrer Treib-

hausgasemissionen nach ihren eigenen Schätzungen nicht ausreichen, um die Verpflichtungen der EU gemäß dem Kyoto-Protokoll zu erfüllen. Auf der Basis der auf nationaler oder europäischer Ebene bereits umgesetzten umweltpolitischen Maßnahmen ist angesichts der in einigen EU-Mitgliedstaaten zu erwartenden Emissionszunahme zu erwarten, dass die Emissionen bis 2010 nur um 1,0 % gegenüber dem Basisjahr gesenkt werden. Nur Schweden und das Vereinigte Königreich erfüllen derzeit ihre Ziele nach dem „burden sharing". Deutschland ist noch etwa 2,5 Prozentpunkte davon entfernt. Jedoch könnten der am 01.01.2005 begonnene europäische Emissionshandel sowie zusätzliche Maßnahmen im Inland in den Sektoren Private Haushalte und Verkehr, die im Rahmen des Nationalen Klimaschutzprogramms 2005 definiert wurden, wie z.B. Fördermaßnahmen und Energieeffizienzverbesserungen im Gebäudebereich, technische Verbesserungen an Fahrzeugen und Kraftstoffen sowie innovative Antriebe und Klimaschutzprojekte (Joint Implementation und Clean Development Mechanism) die Erfüllung des deutschen Minderungszieles sicherstellen.

Falls die zusätzlichen von den EU-15-Mitgliedstaaten geplanten Politiken und Maßnahmen berücksichtigt werden, könnte eine Emissionsminderung innerhalb der EU-15 um 7,7 % bis 2010 erreicht werden. Allerdings setzt dies voraus, dass einige Mitgliedstaaten ihr Ziel übererfüllen (Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Schweden, Vereinigtes Königreich). Ohne die besonderen Anstrengungen der o.g. Staaten wird durch die zusätzlich geplanten Maßnahmen der EU eine Minderung von nur 5,4 % bis 2010 projiziert (Abb. I 2.2.2-1).

Abb. I 2.2.2-1: *Trend und Projektion der Treibhausgasemissionen in der Europäischen Union (EU-15)*



Quelle: *Europäische Umweltagentur 2003*

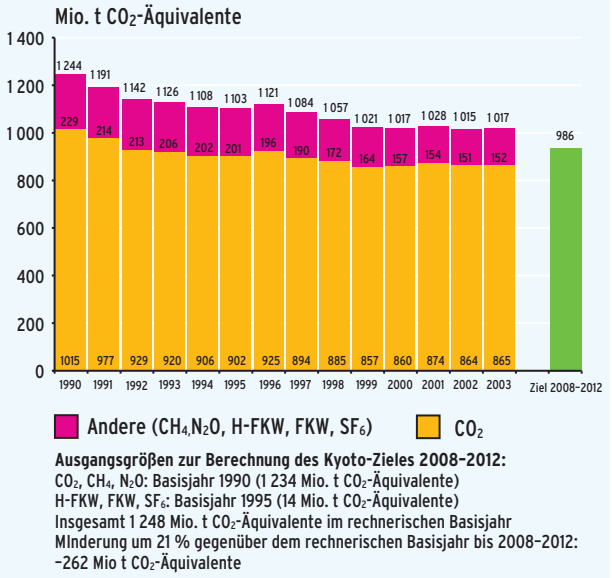
I 2.3 Entwicklungen in Deutschland

I 2.3.1 Emissionen der Treibhausgase

Treibhausgas-Emissionen 1990–2003 in Deutschland

Insgesamt konnte die Freisetzung von Treibhausgasen in Deutschland seit 1990 deutlich vermindert werden. Bezogen auf das Basisjahr des Kyoto-Protokolls sanken die in CO_2-Äquivalente umgerechneten Gesamtemissionen bis 2003 um rund 230 Mio. t oder 18,5 % (CO_2, CH_4, N_2O: Basisjahr 1990; H-FKW, FKW, SF_6: Basisjahr 1995). Zur Erreichung des Kyoto-Ziels fehlen noch 2,5 % gegenüber dem Basisjahr. Damit ist Deutschland sehr nahe an der Zielerfüllung, bedarf aber weiterer stetiger Anstrengungen besonders zur CO_2-Minderung (Abb. I 2.3.1-1 und Tab. I 2.3.1-1 sowie Tab. I 2.3.1-2).

Abb. I 2.3.1-1: *Emissionen der sechs im Kyoto-Protokoll genannten Treibhausgase in Deutschland*



Quelle: *Umweltbundesamt 2005*

Die Kohlendioxid-Emissionen werden weit überwiegend durch Prozesse der stationären und mobilen Verbrennung verursacht. Die CO_2-Emissionen sanken überwiegend in der ersten Hälfte der Neunziger Jahre des 20. Jahrhunderts wegen der Umstrukturierungsprozesse in den neuen Ländern (Umbau der Wirtschaft, damit einhergehende Steigerung der Energieeffizienz, Umstieg auf emissionsärmere Energieträger, Stilllegung veralteter Anlagen). 1996, 2001 und 2003 stieg witterungsbedingt der CO_2-Ausstoß wieder an, der in den Folgejahren wieder kompensiert wurde.

Die Methan-Emissionen wurden bis 2003 als Ergebnis einer verstärkten Abfallverwertung, einer rückläufigen Kohleförderung und einer Verringerung der Tierbestände in den neuen Ländern kontinuier-

Tab. I 2.3.1-1: *Emissionen von direkten und indirekten Treibhausgasen und von SO_2 in Deutschland*

	Einheit	1990	1995	2000	2001	2002	2003
Direkt wirkende Treibhausgase							
CO_2	Mio. t	1 015	902	860	874	864	865
CH_4	Tsd. t	6 290	4 996	3 948	3 777	3 642	3 582
N_2O	Tsd. t	279	261	201	202	199	205
H-FKW[1)]	Tsd. t	3 510	6 360	6 630	8 130	8 247	8 247
CF_4	t	355	224	72	69	76	76
C_2F_6	t	42	32	24	18	20	20
C_3F_8	t	0	1	14	15	16	16
SF_6	t	166	276	168	139	176	176
Emission direkt wirkender Treibhausgase in CO_2-Äquivalenten	Tsd. t	1 243 692	1 102 763	1 016 636	1 027 829	1 015 351	1 017 511
Indirekt wirkende Treibhausgase							
NO_x (als NO_2)	Tsd. t	2 846	2 000	1 634	1 560	1 493	1 428
NMVOC	Tsd. t	3 534	2 248	1 697	1 592	1 494	1 460
CO	Tsd. t	11 212	6 581	4 913	4 561	4 300	4 155
Aerosolbildner							
SO_2	Tsd. t	5 326	1 937	636	643	611	616

1) in CO_2-Äquivalenten

Quelle: *Umweltbundesamt 2005*

Tab. I 2.3.1-2: *Veränderung der Treibhausgasemissionen gegenüber dem Basisjahr des Kyoto –Protokolls*

	Basisjahr	Emissionsmengen[1)] im Basisjahr	%	1991 +/- %	1995 +/- %	2000 +/- %	2001 +/- %	2002 +/- %	2003 +/- %
Direkt wirkende Treibhausgase									
CO_2	1990	1 015 031	100	–3,8	–11,1	–15,3	–13,9	–14,9	–14,8
CH_4	1990	6 290	100	–8,3	–20,6	–37,2	–40,0	–42,1	–43,1
N_2O	1990	279	100	–4,2	–6,4	–28,0	–27,7	–28,5	–26,3
H-FKW	1995	6 360	100		0,0	4,2	27,8	29,7	29,7
CF_4	1995	224	100		0,0	–67,8	–69,0	–66,2	–66,2
C_2F_6	1995	32	100		0,0	–25,7	–43,4	–38,9	–38,9
C_3F_8	1995	1	100		0,0	1 136,1	1 165,1	1 269,2	1 269,2
SF_6	1995	288	100		0,0	–41,7	–51,7	–39,1	–39,1
Emission direkt wirkender Treibhausgase in CO_2-Äquivalenten		**1 247 881**	**100**	**–4,6**	**–11,7**	**–18,5**	**–17,6**	**–18,6**	**–18,5**

1) Angaben für CO_2, CH_4, N_2O, NO_x (als NO_2), NMVOC, CO, SO_2 in Tsd. t, für CF_4, C_2F_6, C_3F_8, SF_6 in t, für H-FKW in t CO_2-Äquivalenten

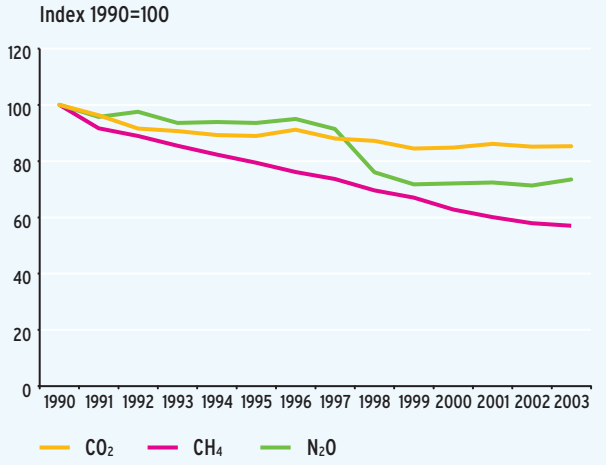
Quelle: *Umweltbundesamt 2005*

lich zurückgeführt. Weiterhin wirkten sich die Sanierung der Gasverteilungsnetze und die Brennstoffumstellung auf flüssige und gasförmige Brennstoffe bei kleineren Feuerungsanlagen emissionsmindernd aus.

Hauptemittenten von Distickstoffoxid waren im Jahr 1990 noch zu etwa gleichen Teilen Industrie und Landwirtschaft. Wegen der Initiative der beiden Adipinsäurehersteller (Adipinsäure: Grundstoff in der Kunststoffherstellung, Lösemittel, Weichmacher) in Deutschland gingen die N_2O-Emissionen aus dem Bereich der Industrieprozesse in der zweiten Hälfte der Neunziger Jahre erheblich zurück (Abb. I 2.3.1-2).

In den Neunziger Jahren setzte man zunehmend H-FKW als Ersatz für die ozonabbauenden und treib-

Abb. I 2.3.1-2: *Trend der Emissionen von CO_2, CH_4 und N_2O in Deutschland*



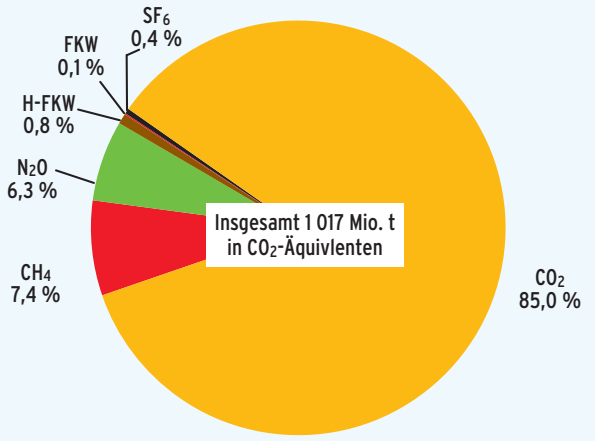
Quelle: *Umweltbundesamt 2005*

hauswirksamen voll- und teilhalogenierten Fluorkohlenwasserstoffe ein. Deshalb stiegen die H-FKW-Emissionen in der zweiten Hälfte der Neunziger Jahre steil an.

Die FKW-Emissionen gingen seit 1995 (Basisjahr für die Erreichung des Kyoto-Ziels) um 66 % zurück.

Die Schwefelhexafluorid-Emissionen stiegen bis 1995 infolge des vermehrten Einsatzes von SF_6 als Füllgas für Schallschutzfenster und Autoreifen stark an, waren danach jedoch rückläufig. 2002/03 betragen sie noch 61 % der Emissionen des Jahres 1995 (Basisjahr für die Erreichung des Kyoto-Ziels) (Abb. I 2.3.1-3 und Tab. „Veränderung der Treibhausgasemissionen gegenüber dem Vorjahr").

Abb. I 2.3.1-3: *Anteile der Treibhausgase an den Emissionen (berechnet in CO_2-Äquivalenten) 2003*



Quelle: *Umweltbundesamt 2005*

Treibhausgasemissionen nach Emittentengruppen

Die mit über 80 % bei weitem bedeutendste Quelle von Treibhausgasemissionen ist der Verbrauch von **Energie**, etwa in Kraftwerken oder im Verkehr. Bedingt durch die überdurchschnittlichen Minderungserfolge in anderen Bereichen steigt auch die relative Bedeutung dieser Quellgruppe stetig an. Die Entwicklung ist eng an den Emissionsverlauf von CO_2 gekoppelt.

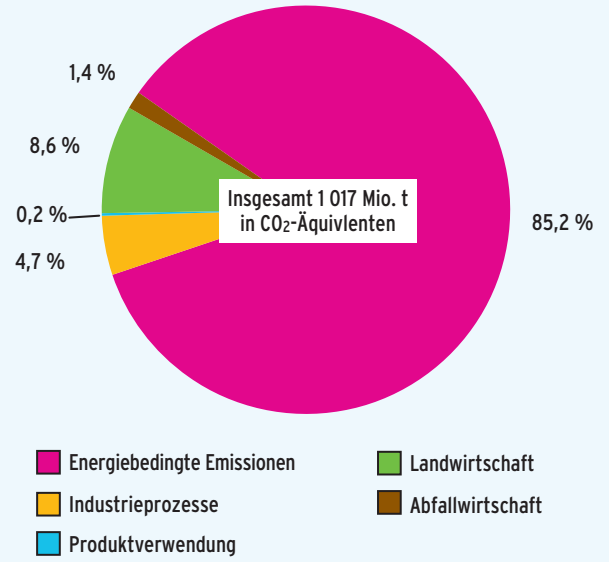
Die **Landwirtschaft** mit fast 9 % ist die bedeutendste der anderen Emittentengruppen. Der Verlauf der CH_4- und N_2O-Emissionen folgt im Wesentlichen der Entwicklung der Tierbestände.

Im **Industriesektor** hatten die emissionsmindernden Maßnahmen besonders bei der Adipinsäureproduktion einen stark mindernden Effekt. Gegenläufig entwickelten sich die H-FKW-Emissionen. Die Industrieprozesse tragen im Jahr 2003 mit einem Anteil von unter 5 % zu den Gesamtemissionen bei.

Die deutlichste relative Minderung der Treibhausgas-Emissionen trat in der **Abfallwirtschaft** auf, da die Methanemissionen infolge verstärkter Abfallverwertung kontinuierlich zurückgeführt wurden (Kap. X). Im Laufe der Neunziger Jahre wurden Abfälle verstärkt verwertet, weshalb insbesondere die Deponieemissionen gemindert wurden. Bis 2003 wurden die Emissionen um fast zwei Drittel auf unter 1,5 % der Gesamtemissionen zurückgeführt.

Die Emissionen aus der **Produktverwendung** sind nicht sehr hoch. Für 1990 wurde ein Wert für die medizinische Verwendung von Lachgas in der Narkose ermittelt, der seitdem fortgeschrieben wird (Abb. I 2.3.1-4, Abb. I 2.3.1-5 und Tab. I 2.3.1-3).

Abb. I 2.3.1-4: *Anteile der Emittentengruppen an den Treibhausgasemissionen (berechnet in CO_2-Äquivalenten) 2003*

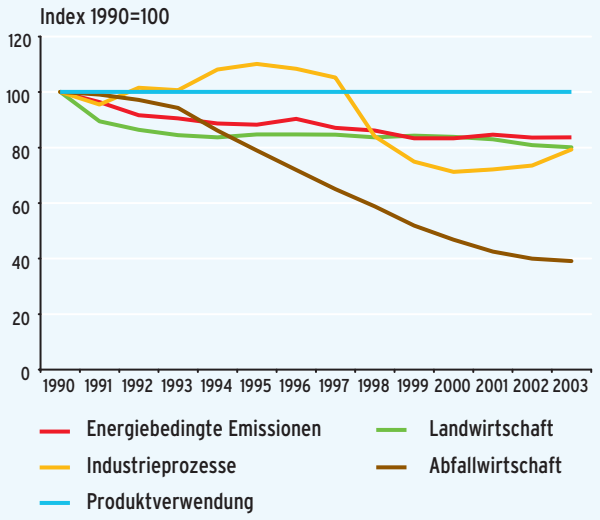


Quelle: *Umweltbundesamt 2005*

Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen in Deutschland nach dem Referenzszenario der Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung"

Wesentliche Voraussetzung, um Szenarien für die Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Zukunft entwickeln zu können, sind Vorstellungen darüber, wohin die Fortsetzung bisheriger und künftig zu erwartender Trends der demographischen, der sozialen, der technisch-ökonomischen und der politischen Einflussfaktoren langfristig führen könnte. Die Enquete-Kommission des 14. Deutschen Bundestages „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung" hat in ihrem Endbericht

Abb. I 2.3.1-5: *Trend der Emissionen der sechs im Kyoto-Protokoll genannten Treibhausgase in Deutschland nach Emittentengruppen*



Quelle: *Umweltbundesamt 2005*

ein Referenzszenario vorgelegt, das die Auswirkungen der klimaschutzpolitischen Maßnahmen der Bundesregierung in einer langfristigen Perspektive bis 2050 vorausschätzt.

Annahmen des Referenzszenarios

Das Referenzszenario geht von einer zwischen 2000 und 2050 auf 68 Millionen sinkenden Bevölkerung bei gleichzeitiger Zunahme der durchschnittlichen Wohnfläche pro Einwohner um fast 50 % und einer Steigerung des Bruttoinlandsprodukts in demselben Zeitraum auf das 2,4 fache aus. Für den gesamten Zeitraum von 2000 bis 2050 wird beim Erdöl eine jahresdurchschnittliche Preissteigerung um 1,7 %, beim Erdgas eine solche um 1,9 % und bei der Steinkohle eine Erhöhung um 0,9 % zu Grunde gelegt. Die Personenverkehrsleistung steigt bis 2030 auf etwa 1 140 Mrd. Pkm und geht danach zurück, und zwar vor allem im motorisierten Individualver-

Tab. I 2.3.1-3: *Emissionen der sechs im Kyoto-Protokoll genannten Treibhausgase in Deutschland nach Emittentengruppen in Tsd. t CO_2-Äquivalenten*[1)]

Emittentengruppe	Stoff	1990	1995	2000	2001	2002	2003
Energiebedingte Emissionen	CO_2	988 859	876 060	834 599	850 357	841 106	841 692
	CH_4	37 339	26 805	18 788	16 398	15 798	15 397
	N_20	10 419	11 057	10 261	10 021	9 736	9 444
Summe		**1 036 617**	**913 922**	**863 648**	**876 776**	**866 640**	**866 533**
Anteil an Gesamtemissionen		*83,3 %*	*82,9 %*	*85,0 %*	*85,3 %*	*85,4 %*	*85,2 %*
Industrieprozesse	CO_2	26 172	26 152	25 493	23 505	22 771	23 676
	CH_4	335	332	385	371	358	407
	N_20	23 484	24 991	5 549	7 342	7 861	10 373
	H-FKW	3 510	6 360	6 630	8 130	8 247	8 247
	FKW	2 696	1 759	790	723	786	786
	SF_6	3 967	6 633	4 018	3 325	4 197	4 197
Summe		**60 165**	**66 227**	**42 864**	**43 396**	**44 220**	**47 686**
Anteil an Gesamtemissionen		*4,8 %*	*6,0 %*	*4,2 %*	*4,2 %*	*4,4 %*	*4,7 %*
Produktverwendung	CO_2	–	–	–	–	–	–
	CH_4	–	–	–	–	–	–
	N_20	1 922	1 922	1 922	1 922	1 922	1 922
Summe		**1 922**	**1 922**	**1 922**	**1 922**	**1 922**	**1 922**
Anteil an Gesamtemissionen		*0,2 %*	*0,2 %*	*0,2 %*	*0,2 %*	*0,2 %*	*0,2 %*
Landwirtschaft	CO_2	–	–	–	–	–	–
	CH_4	60 720	51 623	49 187	49 580	48 266	47 649
	N_20	48 350	40 734	42 222	40 898	39 948	39 679
Summe		**109 070**	**92 357**	**91 409**	**90 478**	**88 214**	**87 328**
Anteil an Gesamtemissionen		*8,8 %*	*8,4 %*	*9,0 %*	*8,8 %*	*8,7 %*	*8,6 %*
Abfallwirtschaft	CO_2	–	–	–	–	–	–
	CH_4	33 705	26 153	14 549	12 960	12 054	11 767
	N_20	2 213	2 182	2 244	2 297	2 300	2 275
Summe		**35 918**	**28 335**	**16 793**	**15 257**	**14 355**	**14 042**
Anteil an Gesamtemissionen		*2,9 %*	*2,6 %*	*1,7 %*	*1,5 %*	*1,4 %*	*1,4 %*
Gesamtemissionen		**1 243 692**	**1 102 763**	**1 016 636**	**1 027 829**	**1 015 351**	**1 017 511**
Anteil der Stoffe an den Gesamtemissionen	*CO_2*	*81,61 %*	*81,81 %*	*84,60 %*	*85 %*	*85,08 %*	*85,05 %*
	CH_4	*10,62 %*	*9,51 %*	*8,16 %*	*7,72 %*	*7,53 %*	*7,39 %*
	N_20	*6,95 %*	*7,33 %*	*6,12 %*	*6,08 %*	*6,08 %*	*6,26 %*
	H-FKW	*0,28 %*	*0,58 %*	*0,65 %*	*0,79 %*	*0,81 %*	*0,81 %*
	FKW	*0,22 %*	*0,16 %*	*0,08 %*	*0,07 %*	*0,08 %*	*0,08 %*
	SF_6	*0,32 %*	*0,60 %*	*0,40 %*	*0,32 %*	*0,41 %*	*0,41 %*

[1)] CO_2-Emissionen ohne Berücksichtigung von Senken (z. B. Wälder)

Quelle: *Umweltbundesamt 2005*

kehr. Die Güterverkehrsleistung wird Mitte des Jahrhunderts etwa doppelt so hoch sein wie im Jahr 2000.

Für das Referenzszenario wurden folgende energie- und umweltpolitischen Annahmen gemacht: Von den heimischen Stein- und Braunkohlen sollen im Jahr 2010 mindestens noch 750 PJ bzw. 1 400 PJ und im Jahr 2020 rund 500 PJ bzw. 1 400 PJ eingesetzt werden; danach werden für beide heimischen Energieträger keine Vorgaben gemacht. Für die erneuerbaren Energiequellen werden für den gesamten Betrachtungszeitraum steigende Anteile am Nettostromverbrauch und für die Jahre bis 2020 auch Mindestanteile am Primärenergieverbrauch vorgegeben. Die Kernenergienutzung läuft gemäß der Vereinbarung zwischen Bundesregierung und Kernkraftwerksbetreibern sowie der Novelle des Atomgesetzes aus. Neugebaute Gebäude sollen ab 2002 der Energieeinsparverordnung entsprechen. Für die Folgejahre wird angenommen, dass diese Anforderungen in einer Fortschreibung der Energieeinsparverordnung noch weiter verschärft werden. Auch für Sanierungsmaßnahmen im Altbaubereich gelten die Vorgaben und eine Fortschreibung dieser Verordnung.

Ergebnisse des Referenzszenarios

Bei den CO_2-Emissionen wie bei den Treibhausgasemissionen insgesamt kommt es von 1990 bis 2050 zu einer Reduktion um größenordnungsmäßig jeweils 30 % (Tab. I 2.3.1-4). Stark rückläufig werden die Emissionen von CH_4 (−87 %) sein, während die Minderung bei den N_2O-Emissionen mit 14 % vergleichsweise schwach ausfällt. Die relative Emissionsminderung in der Periode von 1990 bis 2050 ist besonders stark in der Industrie (−48 %) sowie in dem zusammengefassten Bereich Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (etwa −37 %). Am schwächsten ist der Rückgang im Verkehr, dessen Emissionen das 1990er-Niveau bis zum Jahr 2030 sogar noch spürbar überschreiten. An den absoluten THG-Emissionsreduktionen von 1990 bis 2050 von rund 320 Mio. t CO_2-Äquivalent ist der Energiesektor mit 130 Mio. t oder rund 40 % beteiligt. Es folgen die Industrie sowie der zusammengefasste Bereich Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen mit jeweils rund 82 Mio. t oder reichlich einem Viertel. Der Beitrag des Verkehrssektors beträgt demgegenüber lediglich 26 Mio. t oder gut 8 %.

Das Referenzszenario schreibt die bisherige Politik sowie die Verhaltensweisen der Verbraucher fort. Dabei werden die Ergebnisse – außer von den selbst gesetzten Vorgaben der Enquete-Kommission – entscheidend von den Annahmen über die künftige demographische und ökonomische Entwicklung geprägt. Vom Ziel, die Treibhausgasemissionen bis 2008/2010 im Vergleich zum Basisjahr 1990 um 21 % zu senken, ist das Referenzszenario Deutschland im Jahr 2010 gegenüber den nichttemperaturbereinigten Werten für 1990 um 37 Mio. t oder um 4,5 Prozentpunkte entfernt. Bei einem Vergleich mit geschätzten temperaturbereinigten Werten für 1990 ergibt sich eine „Deckungslücke" von annähernd 20 Mio. t oder rund 2,5 Prozentpunkten.

I 2.3.2 Ziele und Maßnahmen zur Minderung der Treibhausgase

Ziele zur Minderung der Treibhausgase

Im Rahmen des Lastenausgleichs der Europäischen Union hat sich Deutschland verpflichtet, den Ausstoß der sechs im Kyoto-Protokoll genannten Treibhausgase im Zeitraum 2008–2012 um 21 % gegenüber dem Basisjahr 1990 zu senken. Bis zum Jahr 2003 konnte bereits eine Reduzierung um 18,5 % erreicht werden. Allerdings sind weitere Anstrengungen notwendig, um sicherzustellen, dass das international zugesagte Ziel auch tatsächlich erreicht wird. Zudem darf Klimaschutzpolitik weder auf internationaler, noch auf nationaler Ebene im Jahr 2012 enden. Mittel- und langfristige Ziele sind notwendig, um zu verhindern, dass die globale Erwärmung 2 °C gegenüber vorindustriellen Werten übersteigt. Darüber hinaus gewähren mittel- und langfristige Zielsetzungen Planungssicherheit für Investitionen. Daher hat die Bundesregierung in der Koalitionsvereinbarung im Jahr 2002, im Fortschrittsbericht 2004 zur Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie sowie im Nationalen Klimaschutzprogramm 2005 festgelegt, dass Deutschland bis zum Jahr 2020 seine Treibhausgasemissionen um 40 % gegenüber dem Basisjahr 1990 reduzieren wird, wenn die EU-Staaten einer Reduzierung der europäischen Emissionen um 30 % im gleichen Zeitraum zustimmen.

Um diese allgemeinen Klimaschutzziele zu erreichen, hat die Bundesregierung weitere spezifische *Ziele* zur Minderung von Treibhausgasemissionen festgelegt:

- In der Vereinbarung zwischen der Bundesregierung und der deutschen Wirtschaft zur Minderung der CO_2-Emissionen und der Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung hat die deutsche Wirtschaft zugesagt, die CO_2-Emissionen bis zum Jahr 2010 gegenüber 1998 um 45 Mio. t zu mindern.

Tab. I 2.3.1-4: *Entwicklung der CO_2- und Treibhausgasemissionen im Referenzszenario der Enquete-Kommission*

	1990	1995	1998	2010	2020	2030	2050
Energiebedingte CO_2-Emissionen				**Mio. t**			
Energiegewinnung, -umwandlung	440,5	379,4	367,5	337,6	355,9	367,4	339,3
Industrie	169,7	127,1	118,4	112,7	107,8	101,4	88,4
Haushalte, GHD	218,7	197,5	198,6	186,0	184,9	176,8	139,8
Verkehr	158	172,6	176,7	188,3	181	170,3	133,4
Summe	**986,8**	**876,5**	**861,1**	**824,6**	**829,6**	**815,9**	**700,8**
				1990 = 100			
Energiegewinnung, -umwandlung	100	86	83	77	81	83	77
Industrie	100	75	70	66	64	60	52
Haushalte, GHD	100	90	91	85	85	81	64
Verkehr	100	109	112	119	115	108	84
Summe	**100**	**89**	**87**	**84**	**84**	**83**	**71**
Energiebedingte THG-Emissionen[1)]				**Mio. t CO_2-Äquivalente**			
Energiegewinnung, -umwandlung	477,8	408,6	395,7	360,7	375,1	378,1	348,3
Industrie	171,8	128,5	119,9	113,9	109	102,7	89,6
Haushalte, GHD	223,4	200,4	201,3	188,1	187	178,8	141,4
Verkehr	162,5	178,8	182,8	192,6	184,9	173,9	136,2
Summe	**1 035,6**	**916,3**	**899,6**	**855,3**	**856**	**833,5**	**715,5**
				1990 = 100			
Energiegewinnung, -umwandlung	100	86	83	75	78	79	73
Industrie	100	75	70	66	63	60	52
Haushalte, GHD	100	90	90	84	84	80	63
Verkehr	100	110	113	119	114	107	84
Summe	**100**	**88**	**87**	**83**	**83**	**80**	**69**

[1)] THG = Treibhausgasemissionen
Anmerkung: Angaben für 1990 bis 2000 nicht temperaturbereinigt; Angaben ab 2010 temperaturbereinigt. Die Modelldaten für die Jahre 2010 bis 2050 sind daher nur eingeschränkt mit den historischen Daten vergleichbar.

Quelle: *Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung" 2002*

- Erhalt, Modernisierung und Ausbau von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen zielen auf die Minderung von insgesamt 23 Mio. t CO_2 pro Jahr, jedenfalls nicht weniger als 20 Mio. t CO_2 pro Jahr bis 2010 gegenüber dem Basisjahr.
- Die erneuerbaren Energien sollen bis 2010 mindestens mit 12,5 % und bis 2020 mindestens mit 20 % zur Stromversorgung beitragen. Bis zur Mitte des Jahrhunderts sollen erneuerbare Energien rund die Hälfte des Energieverbrauchs decken.
- Der Anteil erneuerbarer Energien an der Primärenergiebilanz soll auf 4,2 % bis zum Jahr 2010, bezogen auf 2000, verdoppelt werden.
- Die Energieproduktivität ist bis 2020 gegenüber 1990 zu verdoppeln. Zur Umsetzung des europäischen Emissionshandelssystems hat der Gesetzgeber in § 4 Abs. 2 des Zuteilungsgesetzes 2007 Emissionsziele für die Bundesrepublik festgeschrieben, wobei die Ziele für die Zuteilungsperiode 2008–2012 im Jahre 2006 überprüft werden.

Maßnahmen zur Minderung der Treibhausgase

Die Maßnahmen zur Minderung der Treibhausgasemissionen konzentrieren sich auf die *Energieeinsparung, die Steigerung der Energieeffizienz und* den *Ausbau der erneuerbaren Energien.*

Im Mittelpunkt des Nationalen Klimaschutzprogramms 2005 stehen die Sektoren Private Haushalte und Verkehr, da der Emissionshandel die Zielerreichung für die Bereiche Industrie und Energiewirtschaft sicherstellt. Folgende *Maßnahmen* sind im Nationalen Klimaschutzprogramm 2005 verankert:

- Private Haushalte:
  - Öffentlichkeitsarbeit, Beratung und Innovation (u.a. Ausbau der Deutschen Energie-Agentur (dena) als Kompetenzzentrum für Energieeffizienz, breit angelegte Öffentlichkeitskampagnen, Ausbau der Ressortforschung des BMVBW und des Energieeinspar-Contracting im Wärmebereich)
  - Fördermaßnahmen (u.a. KfW-Programme im Gebäudebereich, Marktanreizprogramme für Biomasse und Sonne)
  - Ordnungsrechtliche Maßnahmen (u.a. Einführung der EnEV 2006 und Energieausweise)
- Verkehr:
  - Anreizmechanismen zur Verminderung der Transportintensität und zur Steigerung der Energieeffizienz des Verkehrssektors (u.a. Ausbau der Lkw-Maut zu einem „road-pricing", aufkommensneutrale steuerliche Förderung von Pkw mit geringem Verbrauch, Einführung emissionsabhängiger Landegebühren auf deutschen Flughäfen)

- technische Verbesserungen an Fahrzeugen und Kraftstoffen und Förderung alternativer Kraftstoffe und innovativer Antriebe (u.a. Substitution von herkömmlichen Kraftstoffen durch Biokraftstoffe, Weiterentwicklung der ACEA-Zusage der Automobilindustrie zur Reduzierung der spezifischen CO_2-Emissionen von Neufahrzeugen, Substitution von F-Gasen in mobilen Klimaanlagen)
- Information der Öffentlichkeit über ressourcenschonendes Verkehrsverhalten (u.a. Verstärkung der Kampagne „Neues Fahren")

Das Bundeskabinett hat die Interministerielle Arbeitsgruppe „CO_2-Reduktion" beauftragt, künftig einmal im Jahr dem Kabinett einen Sachstandsbericht über die Entwicklung der nationalen Treibhausgasbilanz insbesondere mit Blick auf die Realisierung der Klimaschutzziele vorzulegen, der auf der Berichterstattung an die EU gemäss Art. 3 der Monitoring-Richtlinie und auf dem Nationalen Inventarbericht aufbaut. Darüber hinaus beauftragte das Kabinett die IMA „CO_2-Reduktion", im Jahr 2008 einen weiteren Bericht mit dem Ziel der Fortschreibung des Klimaschutzprogramms vorzulegen. In diesem Bericht werden ggf. Empfehlungen für die Modifizierung bestehender oder die Notwendigkeit zusätzlicher Maßnahmen abgegeben. Der Bericht soll zum einen die heutigen Beschlüsse unter dem Gesichtspunkt der Gestaltung eines konsistenten und kosteneffizienten Maßnahmenbündels vor dem Hintergrund des Zielerreichungsgrads prüfen. Zum anderen soll er Empfehlungen zur Weiterentwicklung der Klimaschutzpolitik der Bundesregierung vor dem Hintergrund der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie sowie der europäischen und internationalen Entwicklung festlegen.

[1] Key World Energy Statistics, International Energy Agency (IEA), 2003
[2] Harnisch, J.: Atmospheric Perfluorocarbons: Sources and concentrations. Proceedings of the Second International Symposium on Non-CO_2-Greenhouse Gases. Nordwijkerhoud, 8.-10. September 1999.
[3] European Environment Agency: Analysis of greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2004 – Draft. Technical Report No. 7/2004, Kopenhagen 2004; im Internet zu finden unter http://reports.eea.eu.int/technical_report_2004_7/en. Hier sind auch weitergehende Informationen über Klimaschutzmaßnahmen der EU zu finden.

I 3 Ökologische Steuerreform – eine Querschnittsmaßnahme für den Klimaschutz

Die energieverbrauchenden Aktivitäten zählen zu den wichtigsten emissionsverursachenden Bereichen. Deshalb ist neben den Handlungsfeldern zur rationellen Energieverwendung und effektiven Energiebereitstellung die Besteuerung von Energie ein ökonomisches Instrument, das zu sparsamem Umgang mit Energie anregt und zur eher erreichbaren Wirtschaftlichkeit innovativer Energietechniken beiträgt.

Die Energiebesteuerung erfolgt in Deutschland in erster Linie durch die Mineralölsteuer und die 1999 eingeführte Stromsteuer. Das Mineralölsteuergesetz regelt die Besteuerung von Kraft- und Heizstoffen, wobei die Steuersätze im April 1999 durch die erste Stufe der Ökologischen Steuerreform angehoben wurden. Weitere Steuererhöhungen für Strom und Kraftstoffe erfolgten in den Jahren 2000 bis 2003 sowie für Heizstoffe im Januar 2003 (Tab. I 3-1). Die mittelfristig festgelegte, stufenweise Anhebung der Steuersätze sorgte für Planungssicherheit bei den Energieverbraucherinnen und -verbrauchern und hat bis heute ökonomische Anreize für den sparsa-

Tab. I 3-1: *Mineralöl- und Stromsteuersätze im Rahmen der Ökologischen Steuerreform (ÖSR)*

Energieträger[1]		ohne ÖSR bis 31.03.1999	1. Stufe ab 01.04.1999	2. Stufe ab 01.01.2000	3. Stufe ab 01.01.2001	4. Stufe ab 01.01.2002	5. Stufe ab 01.01.2003
Benzin (unverbleit)[2]	Euro/1000 l	501,07	531,74	562,42	593,10	623,80	654,50
	DM/1000 l	980,00	1040,00	1100,00	1160,00	1220,05	1280,09
Diesel[2]	Euro/1000 l	317,00	347,68	378,36	409,03	439,70	470,40
	DM/1000 l	620,00	680,00	740,00	800,00	859,98	920,02
Leichtes Heizöl	Euro/1000 l	40,90	61,36	61,36	61,36	61,35	61,35
	DM/1000 l	80,00	120,00	120,00	120,00	119,99	119,99
Erdgas (Heizstoff)	Euro/MWh	1,84	3,48	3,48	3,48	3,48	5,50
	DM/MWh	3,60	6,80	6,80	6,80	6,80	10,76
Schweres Heizöl	Euro/1000 kg	15,34/28,12	15,34/28,12	17,90	17,90	17,89	25,00
	DM/1000 kg	30,00/55,00[3]	30,00/55,00[3]	35,00	35,00	34,99	48,90
Strom	Euro/MWh		10,23	12,78	15,34	17,90	20,50
	DM/MWh		20,00	25,00	30,00	35,01	40,09

Hervorgehoben sind die in den Gesetzen niedergelegten Steuersätze in der jeweils gültigen Währung (bis 2001 in DM, ab 2002 in Euro).

[1] Mineralöl- und Stromsteuer für wichtige Energieträger (ohne Berücksichtigung von Sonderregelungen)
[2] ab 01.11.2001 schwefelarm, ab 01.01.2003 schwefelfrei
[3] zur Wärmeerzeugung/zur Stromerzeugung, jeweils bis 31.12.1999

Quelle: *Bundesministerium der Finanzen 2005*

men Umgang mit Energie geschaffen. Durch die Erhöhung der Energiesteuern entstehen Steuermehreinnahmen, die zu rund 90 % über eine Senkung und Stabilisierung der Rentenversicherungsbeiträge wieder an die Unternehmen und privaten Haushalte zurückfließen. Dies erhöht das Nettoeinkommen der Beschäftigten und verringert die Lohnnebenkosten für die Arbeitgeber. Der Faktor Arbeit wird durch die Ökologische Steuerreform billiger, der Verbrauch von Energie teurer. Auf diese Weise werden positive Umwelt- und Beschäftigungswirkungen miteinander verbunden. Das restliche Geld der Steuereinnahmen wird für die Förderung erneuerbarer Energien, zur energetischen Gebäudesanierung und zur Haushaltskonsolidierung verwendet.

Die Ökologische Steuerreform hat zu einem Anstieg der Beschäftigung um bis zu 250 000 Arbeitsplätze, zu 20 Mio. t eingesparten CO_2-Emissionen und zu Steuermehreinnahmen von 18,7 Milliarden EUR im Jahr 2003 geführt.

Für das Produzierende Gewerbe sowie für die Land- und Forstwirtschaft sieht die Ökologische Steuerreform Sonderregelungen vor. Sie dienen dazu, eine Beeinträchtigung der Wettbewerbsfähigkeit dieser Bereiche durch den Anstieg der Energiesteuern zu vermeiden. Dazu zählen folgende Regelungen für Stromsteuer und Heizstoffsteuern:

Produzierendes Gewerbe

- Für das Produzierende Gewerbe sowie die Land- und Forstwirtschaft gilt seit Januar 2003 ein ermäßigter Steuersatz von 60 % (vormals 20 %) des Regelsatzes für Strom, Heizöl und Gas, sofern ein Sockelbetrag von 512,50 EUR pro Jahr bei Strom sowie bei Gas und Heizöl überschritten wird.
- Für das Produzierende Gewerbe gilt darüber hinaus ein Nettobelastungsausgleich. Unternehmen, deren Belastung durch die Ökosteuer höher ausfällt als die Entlastung bei den Rentenversicherungsbeiträgen, können auf Antrag den darüber hinausgehenden Betrag zu 95 % zurückerhalten. Im Ergebnis entspricht dies einem Steuersatz von 3 % des Regelsteuersatzes.

Daneben gibt es eine Reihe von Sonderregelungen, die aus umweltpolitischen Gründen geschaffen wurden:

Verkehr

- Für Schienenbahnverkehr und Oberleitungsomnibusse gilt seit Januar 2004 der ermäßigte Steuersatz von 11,42 EUR/MWh.
- Kraftomnibusse, Bahnen und Sammeltaxen im öffentlichen Personennahverkehr erhalten seit 2004 Mineralölsteuererstattungen in Höhe von 5,4 Cent je Liter Benzin oder Diesel.
- Biokraftstoffe sind von der Mineralölsteuer bis Ende 2009 komplett ausgenommen. Das relativ umweltfreundliche Erdgas unterliegt bis 2020 einem sehr günstigen Steuersatz, Flüssiggas wegen seines höheren Kohlenstoffgehalts bis 2009.
- Kraftstoffe mit einem Schwefelgehalt von mehr als 10 mg/kg werden seit dem 01.01.2003 mit 1,53 Cent pro Liter zusätzlich besteuert.

Energieerzeugung

- Eigenenergieerzeugung und Contracting bis 2 MW sind von der Stromsteuer befreit.
- Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK) mit einem monatlichen oder jährlichen Nutzungsgrad von mindestens 70 % sind von der Mineralölsteuer vollständig befreit; Anlagen, die den Energiegehalt des verwendeten Mineralöls zu mindestens 60 % in Form von Wärme- oder mechanischer Energie nutzen, sind von dem „Ökosteuer-Anteil“ befreit.
- Hocheffiziente Stromerzeugungsanlagen wie Gas- und Dampfturbinenanlagen (GuD) mit einem elektrischen Nettowirkungsgrad von mindestens 57,5 % sind von der Mineralölsteuer auf fünf Jahre befreit, falls sie bis zum 10.09.2007 die dauerhafte Stromerzeugung aufnehmen werden.

Ökologische Finanzreform

Um die Anreize für den Klimaschutz nicht allein auf die Energiebesteuerung zu beschränken, hat die Bundesregierung begonnen, die Ökologische Steuerreform zu einer umfassenderen Ökologischen Finanzreform auszubauen. Angestrebt wird eine klimaschutzgerechte Subventionspolitik sowie die Berücksichtigung von Umweltschutzaspekten bei allen staatlichen Ausgaben und Programmen. Die Bundesregierung stellt den Abbau folgender umweltschädlicher Subventionen in den Vordergrund:

- Die Zuschüsse für die deutsche Steinkohle in Höhe von 5,7 Mrd. EUR im Jahr 1996 werden bis 2005 auf 2,7 Mrd. EUR jährlich reduziert. Bis 2012 sollen die Subventionen 1,83 Mrd. EUR im Jahr betragen.
- Am 01.01.2004 sank die Entfernungspauschale für Fahrten zwischen Wohnung und Arbeitsstätte von 36 Cent bis 10 km und 40 Cent ab dem 11. km auf einheitlich 30 Cent pro km.
- Die ebenfalls verkehrserzeugende und den Flächenverbrauch fördernde Eigenheimzulage sank für Neubauten ab 2004 auf die Hälfte. Die Bundesregierung beabsichtigt die vollständige Abschaffung dieser milliardenschweren Subvention.

- Der bisher auf 50 % ermäßigte Stromsteuersatz für die ineffizienten Nachtspeicherheizungen, die vor dem 01.04.1999 in Betrieb genommen wurden, ist seit dem 01.01.2003 auf 60 % angehoben worden und wird ab 01.01.2007 vollständig auslaufen.

I 4 Verursacherbereich Energie und Maßnahmen

Die Energiebereitstellung und der Energieverbrauch sind querschnittsbezogene Aktivitäten, weshalb dieses Kapitel den sektorbezogenen Kapiteln vorangestellt wird. Energie wird nämlich für Licht und Wärme, beim Betrieb von Maschinen und beim Austausch von Informationen eingesetzt. Der Endenergieverbrauch – das ist die Energie, die den Endverbrauchern nach der Umwandlung der Primärenergieträger zur Verfügung steht – ist gegliedert nach den Sektoren „Industrie", „Haushalte", „Handel, Gewerbe, Dienstleistungen", „Straßenverkehr" und „übriger Verkehr". Weiterhin wird ein „nichtenergetischer Verbrauch", also z.B. Erdöl für die Kunststoffherstellung, sowie der Verbrauch und die Verluste im „Energieumwandlungssektor", im Wesentlichen die Erzeugung vom Strom und Kraftstoffen ausgewiesen. Energieverbrauch und -verluste aller Sektoren zusammen bilden den Primärenergieverbrauch, den Energiegehalt aller eingesetzten Energieträger.

I 4.1 Beitrag zum Treibhauseffekt

Die energiebedingten CO_2-Emissionen werden aus den Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland abgeleitet, die sich auf Statistiken aus allen Gebieten der Energiewirtschaft gründen. Der Bereich Verbrennung fossiler Brennstoffe umfasst die stationären Quellen mit verbrennungsbedingten Emissionen. In der Energiebilanz sind es die Positionen des Umwandlungseinsatzes (öffentliche Wärmekraftwerke, Industriewärmekraftwerke, Heizkraftwerke und Fernheizwerke), des Energieverbrauchs im Umwandlungsbereich (Eigenverbrauch) und des Endenergieverbrauchs.

Im Zeitraum 1990 bis 2002 sanken die energiebedingten CO_2-Emissionen um rund 15 % (Tab. I 4.1-1). Die Emissionsminderungen sind hauptsächlich auf den Rückgang des Einsatzes von Kohle zurückzuführen, die verglichen mit Erdgas einen etwa doppelt so hohen Kohlenstoffgehalt aufweist. Die durch Braunkohleneinsatz freigesetzten CO_2-Emissionen betrugen 1990 noch ca. 35 % der gesamten energiebedingten CO_2-Emissionen und gingen in den Folgejahren bis 2002 um rund 47 % zurück. Die durch Steinkohleneinsatz freigesetzte CO_2-Menge ging in demselben Zeitraum um 13 % zurück. Die aus Gas als Energieträger resultierenden CO_2-Emissionen stiegen jedoch um 29 %.

Tab. I 4.1-1: *Energiebedingte CO_2-Emissionen nach Energieträgern in Deutschland (in Mio. t)*

	1990	1995	2000	2002
Steinkohle	182,5	177,5	168,1	158,2
Braunkohle	343,3	191,7	172,7	182,3
Mineralöl[1)]	313,3	336,8	312,8	306,7
Gas[2)]	143,0	165,8	175,5	184,9
Sonstige	2,2	1,5	2,0	2,1
Gesamt	**984,3**	**873,3**	**831,1**	**834,2**

[1)] ohne Flugtreibstoffverbrauch für den internationalen Luftverkehr, einschließlich Flüssiggas und Raffineriegas
[2)] sowie Naturgase, Kokereigas, Stadtgas und Gichtgas

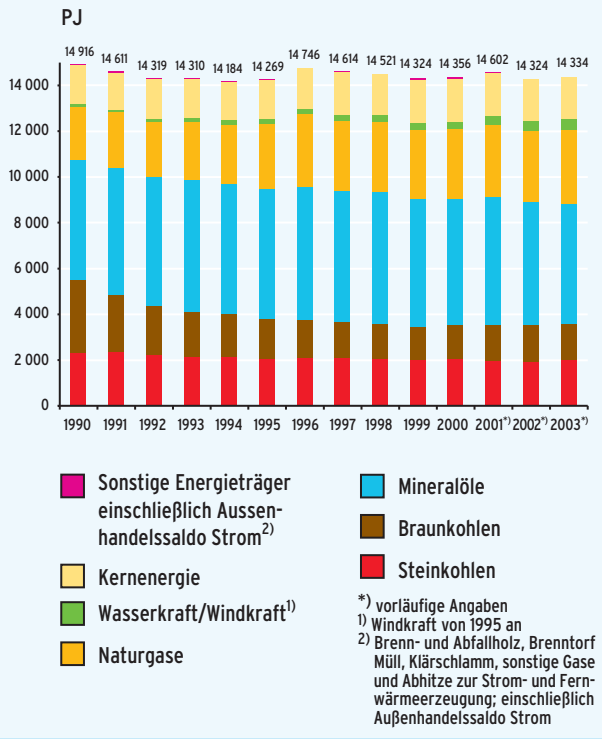
Quelle: *Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2003*

I 4.2 Energieverbrauch

I 4.2.1 Energieverbrauch nach Energieträgern

Der **Primärenergieverbrauch** in Deutschland ist seit Beginn der 90er Jahre trotz wirtschaftlichen Wachstums im Trend rückläufig (Abb. I 4.2.1-1). Die Verbrauchsabnahme beträgt rund 4 %. Schwankungen um den rückläufigen Trend waren in den vergangenen Jahren hauptsächlich auf den Einfluss der Witterungsbedingungen zurückzuführen: In einem kalten Winter erhöht sich der Heizwärmebedarf deutlich.

Abb. I 4.2.1-1: *Primärenergieverbrauch nach Energieträgern (nach Wirkungsgradmethode)*



Quelle: *Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2004*

Im Jahr 2003 wurden in Deutschland mehr als 14 300 PJ an Primärenergie verbraucht. Zur Deckung des Primärenergiebedarfs wurden 2003 rund 37 % Mineralöl, 23 % Naturgas, 14 % Steinkohle und 11 % Braunkohle eingesetzt. Die Kernenergie lieferte 12,5 % des Primärenergiebedarfes. Der Anteil der erneuerbaren Energieträger – hierzu zählen Wasserkraft, Windenergie, Geothermie, Biomasse und Sonnenenergie – hat sich seit 1990 zwar deutlich erhöht, hatte aber im Jahr 2003 erst einen Anteil von 3,3 % (2004: 3,6 %, Abb. I 4.4.1-1).

Seit 1990 haben die größten Veränderungen im Energieträgermix mit einer Halbierung beim Braunkohleneinsatz und Steigerung um etwa ein Drittel beim Gasverbrauch stattgefunden.

Die Berechnung des Primärenergieverbrauchs in Deutschland wird wegen internationaler Vergleichbarkeit ab 1990 nach der Wirkungsgradmethode dargestellt. Bei der Wirkungsgradmethode wird entsprechend dem Vorgehen bei internationalen Organisationen (IEA, EUROSTAT, ECE) angenommen, dass zur Stromerzeugung der Energiegehalt der eingesetzten Kernenergie zu 33 %, der Wasser- und Windkraft und der Photovoltaik zu 100 % und des Stromimports ebenfalls zu 100 % genutzt wird. Bei der bis 1994 in Deutschland angewendeten Substitutionsmethode wurde angenommen, dass der Strom aus den oben genannten Energiequellen entsprechende Stromerzeugung in konventionellen Wärmekraftwerken ersetzt (substituiert) und somit diese Energiequellen genauso wie die Brennstoffe in diesen konventionellen Wärmekraftwerken ausgenutzt werden. Die Wirkungsgradmethode führt im Vergleich zur Substitutionsmethode bei Kernenergie zu einem höheren, bei den anderen Energiequellen zu einem niedrigeren Primärenergieanteil. So liegt z.B. der Anteil erneuerbarer Energien 2003 nach der Substitutionsmethode bei 5,5 %, nach der Wirkungsgradmethode dagegen nur bei 3,3 % des Primärenergieverbrauchs [1].

[1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), BMU Umweltpolitik: Erneuerbare Energien in Zahlen – Nationale und Internationale Entwicklung, Stand Juni 2005

Ausblick bis 2050

Ausblicke in die Zukunft sind immer mit großen Unsicherheiten behaftet. Als Orientierung wird hier zunächst die Entwicklung dargestellt, die theoretisch dann eintritt, falls keine weiteren energiepolitischen Weichenstellungen mehr vorgenommen werden. Dazu wird auf im Auftrag des Umweltbundesamtes aktualisierte Ergebnisse der Enquete-Kommission des 14. Deutschen Bundestages „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung“, Bundestags-Drucksache 14/9400, zurückgegriffen. Da es unwahrscheinlich ist, dass diese Entwicklung tatsächlich eintritt, wird sie um die Entwicklung, die zur Erreichung der Klimaschutzziele notwendig ist, ergänzt.

Das Referenzszenario der Enquete-Kommission schreibt die bisherige Politik sowie die Verhaltensweisen der Verbraucherinnen und Verbraucher fort, indem entsprechende Annahmen bezüglich der demographischen Entwicklungen in Deutschland sowie der Entwicklungen der wirtschaftlichen Einflussgrößen, Wohnflächenbedarf, Energieträgermix, Kosten für Energietechnologien und Verkehrsleistungen gemacht werden. Dabei werden die Ergebnisse entscheidend von den Annahmen über die künftige demographische und ökonomische Entwicklung geprägt.

Die in der Tabelle I 4.2.1-1 ausgewiesenen Ergebnisse berücksichtigen alle bis Ende 2003 umgesetzten und beschlossenen politischen Maßnahmen.

Tab. I 4.2.1-1: *Primärenergieverbrauch im Referenzszenario der Enquete-Kommission*

	1990	2000	2020	2050
nach Energieträgern in PJ				
Steinkohle	2 306	1 920	1 860	1 559
Braunkohle	3 201	1 547	1 470	1 438
Kernenergie	1 668	1 849	912	0
Mineralöle	5 238	5 478	5 206	3 799
Naturgase	2 316	3 025	3 450	3 376
Importsaldo Strom	3	9	8	0
Wasserkraft	58	73	89	92
Windenergie	0	33	96	225
Biomasse, Müll	126	233	472	574
Solar, Umgebung	0	13	57	310
Summe	**14 916**	**14 180**	**13 621**	**11 372**

Anmerkung: Angaben für 1990 bis 2000 nicht temperaturbereinigt: Angaben ab 2010 temperaturbereinigt. Die Modelldaten für die Jahre 2010 bis 2050 sind daher nur eingeschränkt mit den historischen Daten vergleichbar

Quelle: *Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung“ 2002*

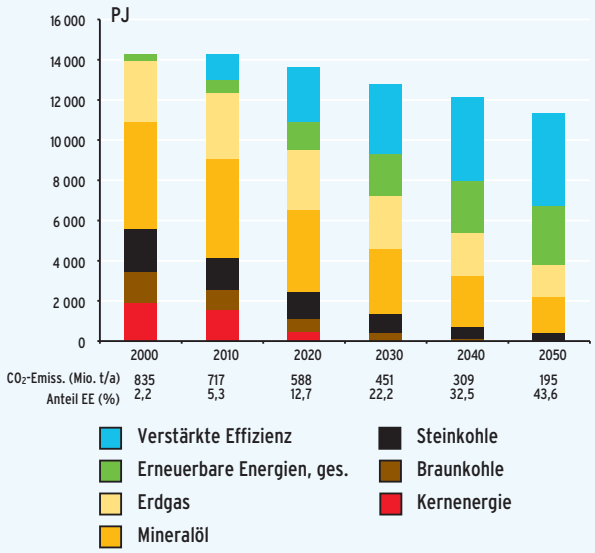
Im Referenzszenario sinkt der Primärenergieverbrauch bis 2050 um 20 % auf 11 370 PJ, weil sich die Energieeffizienz bei der Stromerzeugung und bei den übrigen Umwandlungssektoren verbessert hat sowie die Bevölkerung zurückgeht. Zum Rückgang des Primärenergieverbrauchs tragen jedoch auch rechnerische Effekte bei: Einerseits steigt der Anteil der nach der Wirkungsgradmethode bewerteten erneuerbaren Energieträgern (Wirkungsgrad 100 %) bis 2050 auf über 10 % und andererseits wird die Kernenergie mit dem hier angesetzten Wirkungsgrad von nur 33 % auf Null zurückgefahren.

Im Referenzszenario werden die für 2020 und 2050 von der Enquete-Kommission genannten nationalen

Ziele einer Emissionsminderung um 40 % bzw. 80 % verfehlt.

Um diese Minderungsziele zu erreichen, sind weitere Anstrengungen der Energiepolitik notwendig. Aufbauend auf der Studie „Langfristszenarien für eine nachhaltige Energienutzung in Deutschland“ im Auftrag des Umweltbundesamtes beschreibt ein aktuelles Szenario, wie eine verstärkte Nutzung der erneuerbaren Energien, eine deutliche Steigerung der Energieeffizienz und ein Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung kombiniert werden können. Durch gesteigerte Effizienzmaßnahmen kann der Primärenergieverbrauch im Jahr 2050 auf 6 755 PJ gesenkt werden, der Anteil der erneuerbaren Energieträger liegt im Jahr 2050 bei 44 % (Abb. I 4.2.1-2). Die Studie zeigt, wie die Emissionsminderungsziele auch unter Beachtung von Naturschutzaspekten erreicht werden können.

Abb. I 4.2.1-2: *Struktur des Primärenergieverbrauchs in den Ausbauszenarien-Ausblick bis 2050 (Wirkungsgradmethode)*



Quelle: *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2004*

I 4.2.2 Energieverbrauch nach Verbrauchergruppen

Primärenergieverbrauch nach Sektoren

Vom gesamten Primärenergieverbrauch gelangen 2003 knapp zwei Drittel in die Endenergiesektoren und 7 % in den Verbrauch für nichtenergetische Zwecke. Fast 30 % des Primärenergieverbrauchs sind Verluste und Eigenverbrauch bei der Erzeugung und Bereitstellung von Nutzenergie (z.B. Strom) und anderen Sekundärenergieträgern, wie z.B. Kraftstoffen, im Energieumwandlungssektor selbst (Tab. I 4.2.2-1).

Endenergieverbrauch nach Sektoren

Der Endenergieverbrauch der Sektoren ist in den letzten Jahrzehnten durch erhebliche Veränderungen gekennzeichnet: Innerhalb der Endenergiesektoren ist die Bedeutung der Industrie erheblich zurückgegangen; ihr Anteil am gesamten Endenergieverbrauch sank von fast einem Drittel im Jahre 1990 auf lediglich 25,2 % im Jahre 2003. Kräftig zugenommen hat dagegen das Gewicht der privaten Haushalte (von 25,1 % im Jahr 1990 auf 30 % im Jahr 2003) und des Verkehrs (von 25,1 % im Jahr 1990 auf 28,2 % im Jahr 2003). Allerdings gelang, maßgeblich beeinflusst durch die Ökologische Steuerreform, gerade im Verkehrsbereich erstmals seit Gründung der Bundesrepublik eine Trendwende im

Tab. I 4.2.2-1: *Primärenergieverbrauch (PEV) nach Energiesektoren 1990–2003 (Angaben in PJ)*

			nach Wirkungsgradmethode[1]			
Energiesektor	**1990**	**1995**	**2000*)**	**2001*)**	**2002*)**	**2003*)**
Endenergiesektoren:						
Übr. Bergbau und verarb. Gewerbe[2]	2 977	2 473	2 411	2 375	2 321	2 323
Verkehr	2 379	2 614	2 751	2 693	2 673	2 595
Haushalte	2 383	2 655	2 602	2 850	2 709	2 764
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen[3]	1 749	1 579	1 447	1 548	1 503	1 524
Endenergieverbrauch	**9 488**	**9 321**	**9 211**	**9 466**	**9 206**	**9 206**
Umwandlungssektoren:						
Verbrauch und Verluste[4]	4 470	3 985	4 049	4 097	4 081	4 120
Nichtenergetischer Verbrauch[5]	958	963	1 096	1 052	1 037	1 008
PEV Insgesamt	**14 916**	**14 269**	**14 356**	**14 615**	**14 324**	**14 334**

[1] Annahme nach der Wirkungsgradmethode: Zur Stromerzeugung wird der Energiegehalt der eingesetzten Kernenergie zu 33 %, der Wasser- und Windkraft und der Photovoltaik zu 100 % und des Stromimports ebenfalls zu 100 % genutzt.
[2] Industrie
[3] einschließlich Militärische Dienststellen
[4] Verluste bei Energieumwandlung, z.B.in Kraftwerken, Raffinerien, Brikettfabriken, einschl. Leitungsverluste und Statistische Differenzen
[5] z.B. Energieträger als Rohstoff in der Chemischen Industrie
*) Vorläufige Angaben
Abweichungen in den Summen durch Rundungen

Quelle: *Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2004*

Hinblick auf den absoluten Kraftstoffverbrauch und die CO_2-Emissionen, so dass der Anteil in den letzten vier Jahren wieder rückläufig ist (Tab. I 4.2.2-2).

Tab. I 4.2.2-2: *Anteil der Sektoren am Endenergieverbrauch in Prozent*

	1990	1995	2000*)	2003*)
Übr. Bergbau und verarb. Gewerbe	31,4	26,5	26,2	25,2
Verkehr	25,1	28,1	29,8	28,2
Haushalte	25,1	28,5	28,3	30,0
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen[1)]	18,4	16,9	15,7	16,6

[1)] 1990 bis 1994 einschließlich der in den Energiebilanzen ausgewiesenen statisischen Differenzen beim Strom
*) Vorläufige Angaben
Abweichungen in den Summen durch Rundungen

Quelle: *Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2004*

[1] Umweltbundesamt „Klimaschutz in Deutschland bis 2030“, Reihe Climate Change 3/2005

I 4.3 Energieeffizienz bei der Energiebereitstellung

Stromversorgung in Deutschland

Strom wird vom Menschen in einer Fülle von Anwendungen in Anspruch genommen. Strom kann aus allen Energieträgern erzeugt werden.

Der Stromverbrauch in Deutschland hat im Zeitraum von 1990 bis 2002 um etwa 6 % zugenommen (Tab. I 4.3-1 und Tab. I 4.3-2). Die Struktur nach eingesetzten Energieträgern hat sich in dem o.g. Zeitraum deutlich geändert. Der Kohleneinsatz zur Stromerzeugung fiel im letzten Jahrzehnt: der Braunkohleneinsatz zur Stromerzeugung fiel bis zum Jahr 2000 um 21 %, allerdings stieg die Braunkohlenverstromung nach 2000 wieder leicht an, bis 2003 um 7 %. Der Einsatz von Steinkohle zur Stromversorgung schwankt seit 1990, ohne einen eindeutigen Trend zu zeigen, und liegt im Jahr 2003 2 % über dem Wert von 1990. Die Verwendung von Heizöl fiel um 33 %. Hingegen nahm der Einsatz von Gasen um 17 % zu. Der Anteil der erneuerbaren Energie am Stromverbrauch betrug im Jahr 1990 3,4 % und stieg bis 2002 um 230 %, bis 2004 sogar um 270 %. Ihr Anteil am Stromverbrauch betrug im Jahr 2004 9,3 %. Der Kernkrafteinsatz stieg um rund 8 %, sein Anteil an dem gesamten Brennstoffeinsatz wuchs um 3 %. Insgesamt hat auch im Jahr 2002 von allen Energieträgern die Kohle weiterhin den größten Anteil mit etwa 51 % an der Stromerzeugung, im Jahr 1990 waren es sogar 56 %.

Der Energieeinsatz zur Stromerzeugung ging im Beobachtungszeitraum trotz einer um knapp 6 % höheren Erzeugung um rund 1 % zurück. Dies bedeutet eine Erhöhung des mittleren Stromerzeugungs-

Tab. I 4.3-1: *Entwicklung der Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2002*

Energieträger	1990	1995	2000*)	2002*)
	Mrd. kWh			
Wasserkraft[1)]	19,7	25,2	27,7	26,0
darunter: regenerativ	16,5	21,6	25,5	23,9
Kernenergie	152,5	154,1	169,9	164,8
Steinkohle		147,1	143,1	135,0
Braunkohle		142,6	148,3	159,0
Erdgas	377,7[2)]	41,1	49,2	54,0
Heizöl		9,1	5,5	6,0
Übrige		16,1	20,8	19,4
Windenergie	0,0	1,5	9,5	16,8
Summe Bruttostromerzeugung	**549,9**	**536,8**	**573,4**	**581,0**
Export-/Import-saldo	0,8	4,8	3,0	0,7
Bruttostromverbrauch	550,7	541,6	576,4	581,7

*) vorläufige Angaben
[1)] einschließlich Pumpspeicher
[2)] Summe aus Steinkohle, Braunkohle, Erdgas, Heizöl und Übrige

Quelle: *Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2003 a*

Tab. I 4.3-2: *Entwicklung des Brennstoffeinsatzes zur Stromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2003*

Energieträger	1990	1995	2000*)	2003*)
	Petajoule			
Steinkohle	1 270	1 332	1 269	1 298
Braunkohlen	1 795	1 455	1 424	1 539
Übrige feste Brennstoffe	65	70	85	91
Heizöl	109	72	38	73
Gase	435	433	472	510
darunter: Erdgas	332	341	357	410
Wasserkraft-/ Windkraft[1)2)]	89	105	126	158
Kernenergie	1 663	1 681	1 849	1 802
Insgesamt	**5 426**	**5 148**	**5 263**	**5 471**

*) vorläufige Angaben, Stand 4.10.2004
[1)] Berechnungen auf der Basis des Wirkungsgradansatzes
[2)] Windkraft von 1995 an

Quelle: *Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2004*

Tab. I 4.3-3: *Stromerzeugung: Spezifischer Brennstoffeinsatz und Gesamtnutzungsgrad von 1990 bis 2002*

	Einheit	1990	1991	1995	2000*)	2002*)
Fossile Kraftwerke	MJ/kWh	9,7	9,7	9,4	9,0	9,1
	%	37,0	37,0	38,1	40,1	39,4
Kernkraftwerke[1)]	MJ/kWh	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9
	%	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0
Wasser, Wind[2)]	MJ/kWh	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Alle Kraftwerke	MJ/kWh	9,9	9,9	9,6	9,2	9,2
	%	36,5	36,5	37,5	39,2	39,2

*) vorläufige Angaben
[1)] Der Kernenergiestrom wird entsprechend international üblichem Vorgehen mit einem angenommenen Wirkungsgrad von 33 % bewertet.
[2)] Die regenrativ erzeugte Wasserkraft wie die Windstromerzeugung werden entsprechend international üblichem Vorgehen mit einem angenommenen impliziten Wirkungsgrad von 100 % bewertet.

Quelle: *Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit*

nutzungsgrades von 36,5 % (1990) auf rund 39 % (2002). Im Durchschnitt der fossil gefeuerten Kraftwerke verbesserte sich der Nutzungsgrad von 37 % im Jahr 1990 auf reichlich 39 % zwölf Jahre später (Tab. I 4.3-3).

Kraftwerke und Verbundnetze in Deutschland

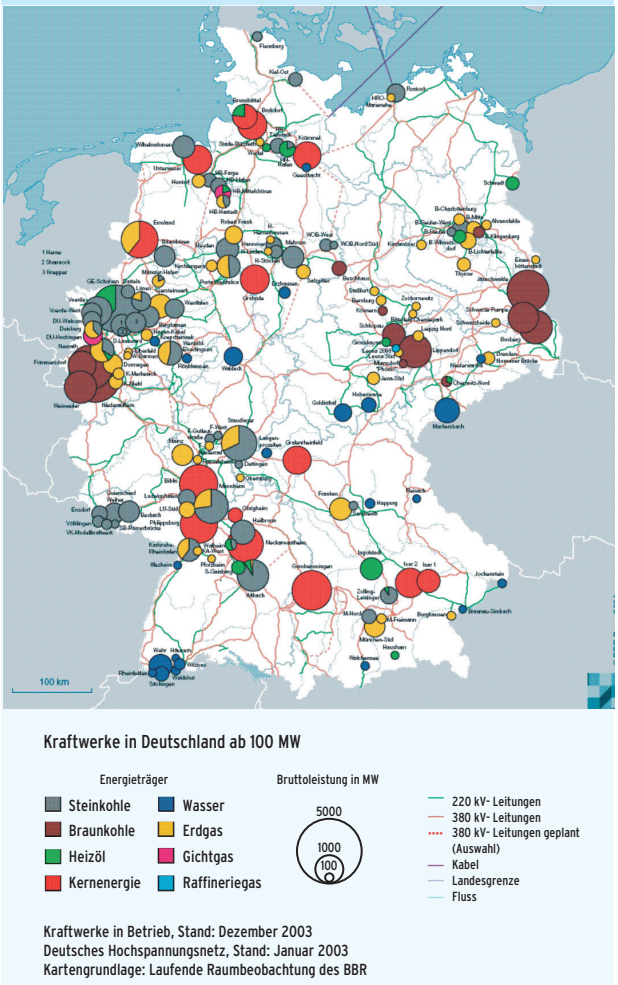
In der Karte der Kraftwerksstandorte (Abb. I 4.3-1) sind Kraftwerke der öffentlichen Stromversorgung, Industriekraftwerke und Bahnkraftwerke mit einer Bruttoleistung ab 100 MW auf der Basis einer UBA-internen Kraftwerksdatei dargestellt. Die Bruttoleistung eines Kraftwerkes oder Kraftwerksblockes ist die Leistung an der Generatorklemme.

Weiterhin sind die Hochspannungsleitungstrassen in den Spannungsebenen 380 kV und 220 kV eingetragen.

Die Energiewirtschaft hält für die gesicherte Energieversorgung für unterschiedliche Tageszeiten Kraftwerkskapazitäten bereit, die bei Bedarf zugeschaltet werden können. Der Strom aus Spitzenlastkraftwerken wird beispielsweise in den Morgenstunden benötigt, wenn eine hohe Energienachfrage in den Haushalten, Unternehmen und durch den öffentlichen Nahverkehr entsteht. Die großräumige Verteilung der Kraftwerke ist im Wesentlichen von standortbezogenen Faktoren abhängig.

- Braunkohlen-Kraftwerke als typische *Grundlast*-Kraftwerke produzieren in direkter Nähe zu den Braunkohlevorkommen im rheinischen, bayrischen, Helmstedter und Lausitzer Revier sowie im mitteldeutschen Raum um Leipzig.
- Laufwasser-Kraftwerke produzieren überwiegend Strom im *Grundlast*bereich. Sie verfügen in der Mehrzahl über eine Brutto-Engpassleistung zwischen 100 kW und 50 MW und konzentrieren sich entlang der Flussläufe in Süd- und Südwest-Deutschland. Dem gegenüber nutzen Pumpspeicherkraftwerke Wasser als Energiespeicher für den Ausgleich von Bedarfsspitzen.
- Kernkraftwerke produzieren Strom überwiegend im *Grundlast*bereich und konzentrieren sich auf die alten Bundesländer ohne Nordrhein-Westfalen. Standortbestimmend ist lediglich die Lage an einem großen Flusslauf wegen des hohen Bedarfs an Kühlwasser. Nach der Stilllegung der Kernkraftwerke in Lubmin und Rheinsberg wird in den neuen Bundesländern kein Strom aus Kernenergie erzeugt. In den alten Bundesländern ging das Kernkraftwerk Stade an der Unterelbe gemäß des Gesetzes zur geordneten Beendigung der Kernenergienutzung zur gewerblichen Erzeugung von Elektrizität vom 27.04.02 im November 2003 vorzeitig vom Netz.

Abb. I 4.3-1: *Kraftwerke und Verbundnetze*



Quelle: *Umweltbundesamt 2003*

- Steinkohlen-Kraftwerke, die im wesentlichen im *Mittellast*bereich eingesetzt werden, produzieren in den Steinkohlen-Bergbaurevieren (Ruhr- und Saar-Revier), in den Küstenregionen und entlang der Binnenwasserstraßen, da hier kostengünstige Transportmöglichkeiten für die Steinkohle bestehen.
- Gas-Kraftwerke und Gas- und Dampfkraftwerke, die im *Spitzen- und Mittellast*bereich eingesetzt werden, gewinnen immer mehr an Bedeutung. Diese Anlagen sind in der gesamten Bundesrepublik vertreten.
- Heizöl-Kraftwerke erzeugen fast ausschließlich *Spitzenlast*strom und weisen daher nur äußerst geringe Stromerzeugungsmengen auf.
- Windenergieanlagen, die vor allem in den Küstenregionen und Flächenstaaten konzentriert sind, sind weiträumig verteilt und daher auf der Karte nicht verzeichnet.

Hervorzuheben sind in den neuen Ländern Maßnahmen zur Verbesserung der Umweltverträglichkeit. So wurden überalterte Ausrüstungen in den Umspannwerken ersetzt, moderne Leittechnik zur Optimierung des Anlageneinsatzes eingesetzt und zahlreiche 220-kV-Übertragungsleitungen durch die ver-

lustärmeren 380-kV-Spannungsebene abgelöst oder zurückgebaut.

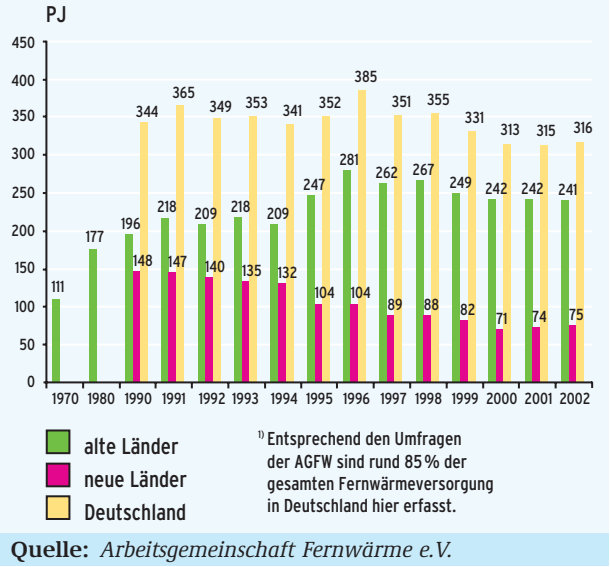
Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung

Die konventionellen Kraftwerke zur Stromerzeugung setzten die Brennstoffe nur mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 30–45 % in elektrischen Strom um. Dabei wird Wärme ungenutzt in die Luft oder in die Gewässer abgegeben. Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK-Anlagen) nutzen die eingesetzten Energieträger erheblich besser als herkömmliche Kraftwerke, da Strom und Wärme gemeinsam produziert und genutzt werden. Die zusätzliche Nutzung dieser Wärme zu Heiz- oder Kühlzwecken bei Endverbrauchern in der Umgebung erlaubt die Ausnutzung der Brennstoffe mit Nutzungsgraden von 80–90 %. KWK-Anlagen können große Heizkraftwerke für die Versorgung ganzer Regionen oder Blockheizkraftwerke sein, die einzelne Gebäude, Siedlungen oder Betriebe versorgen. Dezentrale Anlagen sollen die konventionelle zentrale Stromversorgung zunehmend ergänzen: Strom soll vermehrt dort erzeugt werden, wo die Prozesswärme direkt zu Heiz- oder Kühlzwecken genutzt werden kann.

Von der ins Netz eingespeisten Fernwärme (Abb. I 4.3-2) stammen knapp 80 % aus der umweltschonenden Kraft-Wärme-Kopplung und rund 2 % aus der industriellen Abwärmenutzung. Besonders bei der Bereitstellung von Fernwärme aus KWK-Anlagen besteht noch erhebliches Entwicklungspotenzial. Der Anteil von KWK-Strom an der Gesamtstromerzeugung beträgt gegenwärtig nur rund 9 %.

Zur Förderung des Anteils der Kraft-Wärme-Kopplung an der Energieerzeugung verabschiedete die Bundesregierung in den letzten Jahren Gesetze und

Abb. I 4.3-2: *Fernwärmeversorgung – Netzeinspeisung*[1)]



Quelle: *Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e.V.*

schloss Vereinbarungen, die dem Klimaschutz und der Ressourcenschonung dienen sollen. Die wichtigsten Instrumente sind das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz vom 12. Mai 2000 zum Schutz der Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung (KWKG 2000), das Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der KWK vom 19. Mai 2002 (KWKG 2002) sowie Sonderregelungen für die erdgasgestützte KWK innerhalb der ökologischen Steuerreform. Das KWKG 2000 verhinderte den Abbau des KWK-Bestandes, der ohne gesetzlichen Schutz als Folge der Strommarktöffnung stattgefunden hätte.

Das KWKG 2002 steht in direkter Beziehung zu der im Jahr 2001 verabschiedeten und am 19. Dezember 2003 in Kraft getretene Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Minderung der CO_2-Emissionen und der Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung in Ergänzung zur Klimavereinbarung vom 9. November 2000. Nach dieser Vereinbarung hat sich die Energiewirtschaft zu einer Emissionsreduktion von insgesamt bis zu 45 Mio. t CO_2/Jahr bis zum Jahr 2010 verpflichtet. Dieser Beitrag soll durch Erhalt, Modernisierung und Zubau von Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung mit einem Emissionsminderungsziel von insgesamt 23 Mio. t CO_2/Jahr gegenüber 1998, jedenfalls nicht unter 20 Mio. t CO_2/Jahr im Jahr 2010 erreicht werden. Dieses Ziel ist auch in der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie verankert. Durch das KWKG 2002 soll Deutschland etwa die Hälfte des für die KWK bestimmten Reduktionsziels erreichen, nämlich etwa 5 Mio. t CO_2 bis zum Jahr 2005 sowie von 10 bis 11,5 Mio. t CO_2 bis zum Jahr 2010.

Expertenschätzungen des Öko-Instituts zeigen jedoch, dass Deutschland durch die gesetzlich geförderte Modernisierung von KWK-Anlagen im Bereich der öffentlichen Versorgung sowie durch den Zubau von kleinen KWK-Anlagen ein CO_2-Emissionsminderungsvolumen allenfalls in einer Größenordnung von ca. 4 Mio. t im Jahr 2010 erreichen kann [1].

[1] Umweltbundesamt „Klimaschutz in Deutschland bis 2030“, Reihe Climate Change 3/2005

I 4.4 Erneuerbare Energien

Die energiebedingten Umweltbelastungen, besonders die Klimabeeinträchtigungen sowie der fortschreitende Verbrauch der nicht regenerierbaren Energieressourcen zwingen die Menschen in den Industrienationen, ihren Energieverbrauch in allen Bereichen zu drosseln. Neben dem Einsparen von Energie und der effizienten Energienutzung (z.B. Kraft-Wärme-Kopplung, Kap. I 4.3) bietet sich der verstärkte Einsatz erneuerbarer Energien an, die langfristig zur Verfügung stehen. Hierdurch lassen sich energiebe-

dingte Belastungen auf die Umwelt erheblich vermindern. Es gilt vor allem, die Nutzung der Solarenergie, der Wind- und Wasserkraft, der Biomasse und der Geothermie entscheidend voranzubringen.

I 4.4.1 Beitrag der erneuerbaren Energien zur Primärenergie- und Strombereitstellung

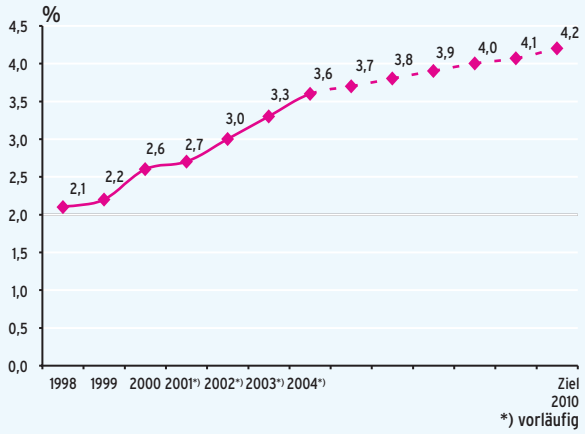
Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch

In den letzten Jahren zeichnet sich bei den erneuerbaren Energien ein Aufwärtstrend ab. Im Jahr 2004 betrug der Anteil am gesamten Primärenergieverbrauch insgesamt 3,6 % (nach Wirkungsgradmethode), der sich aus den Anteilen für die Stromerzeugung (1,7 %), Wärmeerzeugung (1,6 %) und Kraftstoffverbrauch (0,3 %) zusammensetzt. Es ist abzusehen, dass sich dieser Trend fortsetzen wird, unterstützt durch die Novelle des Erneuerbaren-Energie-Gesetzes (EEG) und das in den letzten Jahren aufgestockte Marktanreizprogramm (MAP), die bessere Bedingungen für die Markteinführung und Vergütung erneuerbarer Energien im Strom- und Wärmemarkt bieten. Die Bundesregierung hat sich 2002 eine Verdopplung des Anteils der erneuerbaren Energien bis 2010 gegenüber 2000 auf mindestens 4,2 % des Primärenergieverbrauchs zum Ziel gesetzt (Abb. I 4.4.1-1).

Die Bereitstellung von Strom, Wärme und Kraftstoffen aus erneuerbaren Energien hat sich von 75,9 TWh in 1997 auf 130,9 TWh in 2004 deutlich erhöht (Tab. I 4.4.1-1).

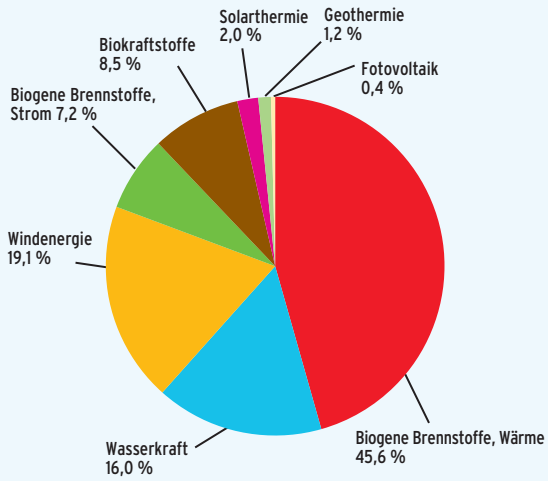
Im Jahr 2004 wurde rund die Hälfte der gesamten Endenergie für Strom, Wärme und Kraftstoff aus erneuerbaren Energiequellen durch Biomasse bereitgestellt, gefolgt von Windenergie (über 19 %) und Wasserkraft (rund 16 %) (Abb. I 4.4.1-2). Bezogen auf die Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien hat Biomasse (hauptsächlich Holz) einen Anteil von 93 %. Für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien waren vor allem die Wasserkraft mit 44 % und die Windenergie mit 40 % Anteil bedeutend.

Abb. I 4.4.1-1: *Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch*



Quelle: *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2005*

Abb. I 4.4.1-2: *Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energieträgern im Jahr 2004*



Quelle: *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2005*

Anteil der erneuerbaren Energien an der Strombereitstellung

Im Jahr 2004 produzierten Stromversorger und private Anlagenbetreiber etwa 55,8 Terawattstunden (TWh) Strom aus Wasserkraft, Windkraft, Biomasse und Sonnenenergie (Fotovoltaik) (Tab. I 4.4.1-2).

Tab. I 4.4.1-1: *Zeitliche Entwicklung der Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energien und der installierten Leistung von 1990 bis 2004*

in GWh	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2004
Summe Stromerzeugung	18 463	20 378	23 018	23 219	26 321	38 629	45 830	55 826
Summe Wärmeerzeugung	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	53 854	57 026	58 064	63 937
Summe Kraftstoffe	k.A.	52	258	517	1 033	2 583	5 683	11 171
Summe Energiebereitstellung	**18 592**	**20 648**	**23 627**	**25 670**	**81 209**	**98 239**	**111 574**	**130 934**

Quelle: *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2005*

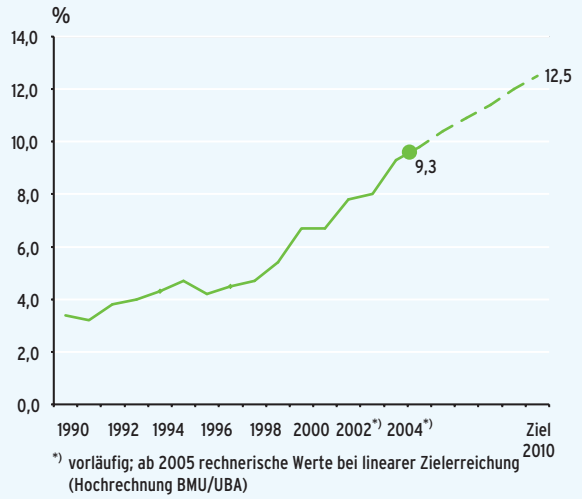
Tab. I 4.4.1-2: *Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und Bruttostromverbrauch in Deutschland*

Jahr	Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien	Bruttostromverbrauch	Anteil Stromerzeugung Erneuerbare Energien am Bruttostromverbrauch
	TWh	TWh	%
1990	18,5	550,7	3,4
1991	17,5	539,6	3,2
1992	20,4	532,8	3,8
1993	21,2	527,9	4
1994	23	530,8	4,3
1995	25,4	541,6	4,7
1996	23,2	547,4	4,2
1997	24,5	549,9	4,5
1998	26,3	556,7	4,7
1999	29,9	557,3	5,4
2000	38,6	578,1	6,7
2001	39	582,8*	6,7
2002	45,8	584,0*	7,8
2003	47,6	596,0*	8
2004	55,8	600,0*	9,3

*Vorläufige Angaben

Quelle: *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2005 a*

Abb. I 4.4.1-3: *Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung*



Quelle: *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2005*

Zum Wachstum der erneuerbaren Energie hat in den letzten Jahren besonders die Windenergienutzung beigetragen. Allein im Jahr 2002 sind Windkraftanlagen mit einer Leistung von rund 3 200 Megawatt (MW), im Jahr 2003 rund 2 600 MW und im Jahr 2004 rund 2020 MW neu installiert worden. Damit hat sich die Kapazität der Windkraft insgesamt auf rund 16 600 MW im Jahr 2004 erhöht. 1990 waren es erst knapp 50 MW. So hat die Windenergie die Wasserkraft als wichtigste erneuerbare Energiequelle zur Stromerzeugung abgelöst. Eine moderne Windkraftanlage mit einer Generatorleistung von 1,5 Megawatt kann je nach Windangebot im Jahr im Durchschnitt 3 Mio. kWh Strom erzeugen. Das entspricht dem durchschnittlichen Jahresverbrauch von 850 Haushalten. Gleichzeitig werden Emissionen vermieden, die sonst beim Einsatz herkömmlicher Energien entstünden. Mit jeder Kilowattstunde Strom aus Windkraftanlagen kann gegenüber der Stromerzeugung aus Kohle die Emission von etwa einem Kilogramm Kohlendioxid vermieden werden.

Der Beitrag der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien an der gesamten Strombereitstellung betrug 2004 bereits rund 9,3 % (Abb. I 4.4.1-3). Angesichts des dynamischen Wachstums der letzten Jahre erscheint das Ausbauziel der Bundesregierung erreichbar, die im Rahmen der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie 2002 und im novellierten EEG vom 21.7.2004 einen Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbarer Energie an der deutschen Stromversorgung von mindestens 12,5 % bis 2010 und von mindestens 20 % bis 2020 beschlossen hat.

Im Hinblick auf das ehrgeizige Ziel einer Verdoppelung des Anteils erneuerbarer Energien von 1990 bis 2010 sind auch die Steigerungsraten der Bruttostromproduktion zu verfolgen. Der Bruttostromverbrauch in Deutschland hat in den letzten 14 Jahren stärker als die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien zugenommen (Tab. I 4.4.1-2). Damit wurde der Anstieg des Bruttostromverbrauchs durch den wachsenden Anteil der erneuerbaren Energie nicht kompensiert. Jedoch hätte ohne die Förderung der erneuerbaren Energie die CO_2-Emission deutlich weniger abgenommen oder sogar zugenommen. Die Entwicklung verdeutlicht, dass ohne eine effiziente Stromerzeugung (KWK) und -nutzung (Bsp. Leerlaufverluste) sowie Stromeinsparung (Suffizienz) eine nachhaltige Energieversorgung nicht realisiert werden kann (Tab. I 4.4.1-3).

Die Nutzung erneuerbarer Energieträger können die limitierten fossilen und nuklearen Energieträger substituieren. Die Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien Statistik (AG EE Stat) berechnete, dass Deutschland im Jahr 2004 durch die Nutzung der erneuerbaren Energien für die Strom- und Wärmeerzeugung rund 70 Mio. Tonnen CO_2-Emissionen vermied. Diese Berechnung beruht auf einer vertieften Analyse über die Verdrängung der fossilen Energieträger durch die verschiedenen Sparten der erneuerbaren Energien in einem Gutachten des Fraunhofer Institutes für Systemtechnik und Innovation (ISI).

Tab. I 4.4.1-3: *Vermiedene Emissionen durch die Nutzung erneuerbarer Energien im Jahr 2004*

Treibhausgas/Luftschadstoff		vermiedene Emissionen (1 000 t)			
		Strom	Wärme[4]	Biogene Kraftstoffe	gesamt
Treibhauseffekt[1]	CO_2	52 168	14 613	4 004	70 785
	CH_4	0,7	0,5	3,1	4,3
	N_2O	1,8	0,1	−4,4	−2,5
	CO_2-Äquivalent	52 723	14 661	2 772	70 156
Versauerung[2]	SO_2	28,7	9	7,4	45,1
	NO_x	32,9	5,6	1,8	40,3
	SO_2-Äquivalent	51,6	13	−2,7	61,9
Ozon[3]	CO	16,7	19	0,7	36,4
	NMVOC	0,7	0,7	1,1	2,5
	Staub	1,6	0,2	0,1	1,9

Stromerzeugung aus Wasser, Wind, Biomasse, Solarenergie und Geothermie: 55826 GWh
Wärmebereitstellung aus Biomasse, Solarthermie und Geothermie: 63937 GWh
Biogene Kraftstoffe (Biodiesel, Rapsöl, Bioethanol): 11463 GWh

[1] weitere Treibhausgase (SF_6, FKW, H-FKW) hier nicht berücksichtigt
[2] weitere Luftschadstoffe mit Versauerungspotenzial (NH_3, HCl, HF) sind hier nicht angegeben, in der Berechnung des SO_2-Äquivalentsfaktors jedoch enthalten
[3] Vorläufersubstanzen für bodennahes Ozon
[4] bezogen auf Endenergie, nur Raumwärme sowie zentrale Warmwasserversorgung privater Haushalte, Wärmebereitstellungsmix ohne Erneuerbare Energien im Jahr 2002

Quelle: *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2005*

I 4.4.2 Instrumente und Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien

Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

In der Richtlinie 2001/77/EG des Europäischen Parlaments vom 27.10.2001 zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsmarkt wurde das Ziel einer Anhebung des Anteils erneuerbarer Energien am gesamten Stromverbrauch in der Gemeinschaft auf 22 % konkretisiert. Dabei hat sich Deutschland auf einen Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung von mindestens 12,5 % verpflichtet. Dies entspricht dem nationalen Ziel der Bundesregierung. Das Erneuerbare Energien Gesetz vom 20. März 2000 (EEG 2000) unterstützte bereits die Erfüllung dieses Zieles. In der Novelle vom 21.7.2004, die am 1. August 2004 in Kraft trat, wird sowohl dieses Ziel als auch das Erreichen von mindestens 20 % Anteil bis 2020 als Zweck des Gesetzes explizit genannt. Darüber hinaus werden weitere Festlegungen der Richtlinie 2001/77/EG in nationales Recht übernommen. Ferner wurde im Rahmen der Umsetzung der Richtlinie 2001/77/EG eine Bestimmung des Umweltauditgesetzes geändert.

Das EEG verpflichtet die Stromnetzbetreiber, Anlagen zur Erzeugung von Strom aus Sonne, Wasser, Wind, Geothermie und Biomasse unverzüglich und vorrangig anzuschließen und den erzeugten Strom vorrangig abzunehmen und zu übertragen sowie Mindestvergütungen dafür zu zahlen.

Förderprogramme

Förderprogramme dienen zur Beschleunigung der Markteinführung erneuerbarer Energieträger:

Das Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien wird aus dem Aufkommen der erneuerbaren Energien zur Ökologischen Steuerreform finanziert. Es fördert insbesondere Zuwächse durch die Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmebereich: Solarthermische Anlagen, Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse und Nutzung der Tiefengeothermie sowie Nahwärmenetze im Zusammenhang mit Biomasse und Geothermievorhaben, aber auch kleine Biogas- und Wasserkraftanlagen. Das Programm hatte im Jahr 2003 ein Fördervolumen von 190 Mio. EUR. Im Jahr 2004 stehen 200 Mio. EUR für Zuschüsse sowie Teilschulderlasse in Verbindung mit zinsverbilligten Darlehen zur Verfügung, die bis 2006 auf jährlich 230 Mio. EUR ansteigen sollen.

Das von 1999 bis 2003 laufende Programm zur Förderung von Fotovoltaikanlagen – dem sogenannten 100 000-Dächer-Solarstrom-Programm – führte gemeinsam mit dem EEG zur Installation von mehr als 300 MWp Fotovoltaikleistung in Deutschland. Damit waren Ende 2003 etwa 350 MWp Fotovoltaik installiert. Zum 1. Januar 2004 wurde das o.g. Förderprogramm über verbesserte Einspeisesätze im Vorgriff auf die damals bereits laufende Novellierung des EEG vollständig kompensiert (2. Gesetz zur Änderung des EEG, sog. Fotovoltaik-Vorschaltgesetz).

I 5 Verursacherbereich Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen und Maßnahmen

Die Industrie und die Bereichsgruppe Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) werden hier gemeinsam betrachtet, da sie von bedeutenden klimaschutzpolitischen Instrumenten und Maßnahmen gleichermaßen betroffen sind. Der GHD -Sektor, der bis zum Jahr 1995 als Kleinverbraucher bezeichnet wurde, besteht aus mittelständigen Wirtschaftsunternehmen wie Kleingewerbe, Handel, Handwerk, Landwirtschaft, Baugewerbe und private Dienstleistungen. Auch werden alle öffentlichen Gebäude und Einrichtungen diesem Sektor zugerechnet.

I 5.1 Beitrag zum Treibhauseffekt und Ressourcenverbrauch

Die Industrie weist 2001 einen Anteil von rund einem Viertel am Endenergieverbrauch auf und ist somit ein bedeutender Handlungsbereich in der Klimapolitik. Vom Kohle-, Öl- und Gasverbrauch, dessen CO_2-Emisssionen direkt der Industrie zugerechnet werden, entfiel der weitaus größte Teil auf den Prozesswärmebedarf (Tab. I 5.1.1).

Tab. I 5.1–1: *Struktur des Endenergieverbrauchs in der Industrie nach Anwendungsbereichen 2001 in %*

Anwendungszweck	Kohle, Mineralöle, Gase	Fernwärme	Strom	Endenergie, insgesamt
Prozesswärme	86,6	50	25,7	66,4
Raumwärme	12,5	50	0,4	9,7
Mech. Energie	1	0	64,6	21,0
Beleuchtung	0	0	5,1	1,6
Information und Kommunikation	0	0	4,3	1,3
Summe	**100**	**100**	**100**	**100**

Quelle: *Umweltbundesamt 2005 a*

Beim Strom dominiert der Bedarf für mechanische Energie, gefolgt von der Prozesswärme. Fernwärme hat nur eine untergeordnete Bedeutung. Die Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ hat 2002 für diese Anwendungsbereiche Energieeinsparpotenziale sowie Erschließungsmöglichkeiten aufgezeigt. Die größten Einsparpotenziale liegen bei den thermischen Querschnittstechnologien, bei denen sich bis zu 30 % des heutigen Energiebedarfs (1998) einsparen ließe. Im Jahr 2001 lag der Anteil der Industrie am gesamten Stromverbrauch der Endenergiesektoren bei rund 43 % (AG Energiebilanzen 2002), weshalb auch in diesem Anwendungsbereich effektive Maßnahmen zur Stromeinsparung notwendig sind.

Auch der Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) beteiligt sich im Jahr 2002 immerhin noch mit ca. 16 % am Endenergieverbrauch.

I 5.2 Klimaschutzpolitische Querschnittsmaßnahmen in der Industrie und im GHD-Bereich

Die seit 1998 beschlossenen Maßnahmen zur Reduktion der CO_2-Emissionen beinhalten neben den sektorspezifischen Maßnahmen Querschnittsmaßnahmen wie die Energieeinsparverordnung (EnEV), die auch den Haushalt betrifft, sowie die ökologische Steuerreform für alle Verbrauchssektoren.

Das **Gesetz zur Fortentwicklung der Ökologischen Steuerreform** sieht eine Anhebung der ermäßigten Ökosteuersätze für Strom, Heizöl und Erdgas für Unternehmen des Produzierenden Gewerbes und Unternehmen der Land- und Forstwirtschaft von derzeit 20 % auf 60 % der Regelsätze vor. Die Steuersätze für Erdgas zum Heizen und Flüssiggas werden um rund 63 %, für schweres Heizöl um rund 72 % angehoben. Auch soll der Spitzenausgleich für energieintensive Unternehmen herabgesetzt werden. Die neue Ausgestaltung der Ökosteuer soll einen ökonomischen Anreiz zur Reduktion der Energienachfrage und der dadurch bedingten CO_2-Emissionen im Industrie- und GHD -Sektor geben. Im GHD -Bereich werden sich Emissionsrückgänge stärker als im Industriesektor abzeichnen, da in diesem Sektor rund 50 % des Energieverbrauchs auf Gase und Heizöl entfallen, weshalb die Anhebung der ermäßigten Ökosteuersätze einen hohen Anreizeffekt haben.

Die am 1. Februar 2002 in Kraft getretene **Energieeinsparverordnung (EnEV)** gilt außer für den Haushaltssektor für Gebäude in den Sektoren Industrie und GHD und hat die Wärmeschutzverordnung von 1994 sowie die Heizungsanlagenverordnung ersetzt. Für Neubauten wird der zulässige Energiebedarf um 30 % gegenüber dem bisherigen Anforderungsniveau gesenkt. Für alle neuen Gebäude ist ein Energiebedarfsausweis vorgeschrieben. Energetische Verbesserungen im Gebäudebestand sind besonders bei baulichen Änderungen und zur Heizungserneuerung vorgesehen. Die Energieeinsparverordnung - Änderungsnovelle hat das Ziel, für mehr Klarheit und Rechtssicherheit im Umgang mit der EnEV zu sorgen (Kap. I 7).

Das Fraunhofer Institut Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI) geht bei Befolgung der Verordnung zu 80 % von einer der Energieeinsparverordnung zuzurechnenden Verminderung der direkten CO_2-Emissionen im Industriesektor von ca. 2 Mio. t CO_2 bis zum Jahr 2010 aus. Dabei wurde ein Anteil

der Raumwärme am Brennstoffbedarf der Industrie von 15 % und bei Neubauten ein 25 %-iger Gebäudeumsatz pro Jahr von 2002 bis 2010 angesetzt.

Wegen des erheblich höheren Raumwärmeanteils von ca. 65 % im GHD -Sektor fällt die geschätzte eingesparte Emissionsmenge von 5,2 Mio. t CO_2 im GHD-Sektor deutlich höher aus.

I 5.3 Selbstverpflichtungen und Vereinbarungen der deutschen Wirtschaft

In der Erklärung der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge II vom 9. November 2000 haben sich verschiedene Verbände der Wirtschaft bereit erklärt, ihre spezifischen Emissionen über alle sechs im Kyoto-Protokoll genannten Treibhausgase insgesamt um 35 % bis 2012 im Vergleich zu 1990 zu verringern (Chapeau-Erklärung). Die deutsche Wirtschaft sagte zu, bis 2005 zusätzlich Anstrengungen zu unternehmen, um eine spezifische CO_2-Minderung von 28 % im Vergleich zu 1990 zu erreichen. Im weiteren Verlauf der Erklärung gehen die Bundesregierung und die deutsche Wirtschaft davon aus, dass damit die Emissionsvolumina im Jahre 2005 um zusätzlich 10 Mio. t CO_2 und im Jahr 2012 nochmals um zusätzlich 10 Mio. t CO_2- Äquivalente gegenüber der bisherigen Selbstverpflichtungserklärung sinken.

Die in der Tab. I 5.3-1 „Monitoring -Daten zur Selbstverpflichtung der Wirtschaft für die einzelnen Branchen“ ausgewiesenen Daten geben etwa 83 % der vom nationalen Inventar erfassten energiebedingten CO_2-Emissionen wieder. Sie weisen zwar auf Grund ihrer heterogenen Datenbezugsgrundlage (amtliche und branchenbezogene Statistiken) Unschärfen auf, vermögen aber die Richtung, in die sich die CO_2 – Emissionen entwickeln, nachzuzeichnen. In der Tendenz ergeben sich sowohl in der Summe als auch bei den meisten Branchen rückläufige direkte CO_2-Emissionen für den Zeitraum 1990 bis 1999. Insgesamt sind die direkten CO_2-Emissionen der erfassten Branchen um ca. 16 % zurückgegangen. Werden nur die energiebedingten CO_2-Emissionen betrachtet, so beträgt der Rückgang 16,6 %. Die CO_2-Emissionen der Industrie außerhalb der öffentlichen Stromversorgung belaufen sich auf 26,4 %, in der öffentlichen Stromversorgung auf 10,7 %. Die indirekten Emissionen sind jedoch gestiegen und im Wesentlichen in die öffentliche Stromversorgung verschoben worden.

Auch die spezifischen CO_2-Emissionen gingen im letzten Jahrzehnt in allen Branchen außer beim Steinkohlenbergbau mehr oder weniger stark zurück. Bei den meisten Branchen ist der Rückgang der direkten spezifischen Emissionen stärker als der der gesamten spezifischen Emissionen. Die meisten Branchen hatten bereits 1999 einen Stand erreicht, der den für 2005 und 2012 eingegangenen Verpflichtungen sehr nahe kommt. Nur in wenigen Branchen bedarf es noch deutlicher Emissionsminderungserfolge zur Zielerreichung (Tab. I 5.3-2).

I 5.4 Maßnahmen zur Förderung der industriellen Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

KWK findet überall dort ihren Einsatz, wo zeitgleich ein Bedarf an thermischer und mechanischer Energie für den Eigenbedarf besteht (Kap. I 4.3). Die Strompreise für Industriekunden bestimmen wesentlich die Wirtschaftlichkeit der industriellen KWK -Anlagen. So sank die Strom- und Wärmeerzeugung auf Basis von industriellen KWK -Anlagen seit der Liberalisierung des Strommarktes und der Möglichkeit eines günstigeren Strombezuges für Industriekunden von 1995 bis 1999 deutlich. Nach der Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Minderung der CO_2-Emissionen und der Förderung der KWK in Ergänzung zur Klimavereinbarung vom 09.11.2000 sollen nun bis zum Jahr 2010 9 Mio. t CO_2 durch die Stromwirtschaft und industrielle Kraftwirtschaft CO_2-Emissionsminderungen über den im KWK-Gesetz abgedeckten Bereich hinausgehend erbracht werden. Verschiedene Studien zeigen ein großes Ausbaupotenzial im industriellen Bereich auf, mit dem durch neue KWK-/GuD -Anlagen das Reduktionsziel von 9 Mio. t im Jahr 2010 erreicht werden kann. Strompreiserhöhend ist eine Reihe fiskalischer Steuerinstrumente wie die ökologische Steuerreform sowie das EEG und das KWKG, die die Wirtschaftlichkeit von KWK-Anlagen erhöhen werden.

I 6 Emissionshandel

Ziele des Emissionshandels

Der Emissionshandel geht auf das so genannte Kyoto-Protokoll aus dem Jahre 1997 zurück. In Kyoto (Japan) wurde ein internationales Klimaschutzabkommen geschlossen, in dem sich 38 Industriestaaten und die Europäische Gemeinschaft verpflichten, den Ausstoß klimaschädlicher Gase, zum Beispiel Kohlendioxid (CO_2), bis 2012 um insgesamt 5 % gegenüber dem Niveau von 1990 zu senken. Der Emissionshandel ist eines der Verfahren, mit dem dieses Ziel zu möglichst geringen Kosten erreicht werden soll. Das Kyoto-Protokoll trat am

Tab. I 5.3-1: *Monitoring-Daten zur Selbstverpflichtungserklärung der Wirtschaft für die einzelnen Branchen*

Verband	Erfassungs-grad der SVE	CO_2-Emissionen direkt			CO_2-Emissionen indirekt[1]			Bezugsgröße		
		1990	1998	1999	1990	1998	1999	1990	1998	1999
		Mio. t CO_2 bzw. Mio. t CO_2-Äqu.						jeweilige Bezugsgröße		
Gesamtverband des des Deutschen Steinkohlenbergbaus	100 %	9,44	4,14	3,83	5,33	8,35	7,64	69,76	40,66	39,24
Kaliverein	99 %	4,21	1,07	1,03	0,55	0,01	0,01	52,10	37,08	36,57
Verein der Zuckerindustrie	100 %	2,29	2,23	2,39	0,04	–0,05	–0,04	23,44	25,77	26,79
Gesamtverband der Textilindustrie	95 %	2,90	1,60	1,68	2,90	2,21	2,12	100,00	69,30	66,30
Verband Deutscher Papierfabriken	85–90 %	9,26	7,72	7,54	5,17	5,82	6,23	12,77	16,31	16,74
Mineralölwirtschaftsverband (Teilerklärung Raffinerien)[2]	>99 %	23,10	k.A.	20,70	k.A.	k.A.	k.A.	100,10	k.A.	112,70
Verband der Chemischen Industrie	99 %	41,01	24,88	23,75	24,52	24,55	24,49	99,30	111,40	116,00
Bundesverband der Deutschen Glasindustrie und Mineralfaserindustrie	87,6 %	4,01	3,65	3,48	2,37	2,81	2,85	6,14	7,24	7,47
Bundesverband der Feuerfest–Industrie	65 %	0,42	0,19	0,18	0,16	0,11	0,11	1,50	1,14	1,06
Bundesverband keramische Fliesen und Platten	80 %	0,48	0,34	0,38	0,22	0,15	0,14	1,24	1,02	1,02
Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie	90–95 %	1,92	1,66	1,75	0,49	0,59	0,60	15,82	19,71	19,44
Verein Deutscher Zementwerke	96,6 %	10,48 15,00	7,56 15,40	7,25 15,61	2,40	2,43	2,50	33,34	34,68	36,57
Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie	95 %	3,05	2,53	2,45	0,17	0,16	0,16	7,13	6,62	6,63
Wirtschaftsvereinigung Stahl	88,2 %	61,64	53,77	49,75	8,24	8,29	7,96	33,45	34,56	33,75
Wirtschaftsvereinigung Metalle (NE-Metalle)	80 %	2,77	2,71	2,65	11,82	11,25	11,47	6,14	7,23	7,31
Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie	k.A.	k.A.	1,56	1,41	k.A.	k.A.	k.A.	48,89	53,25	55,63
Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke	99 %	289,00	266,00	258,00	–	–	–	431,3	458,1	460,0
Summe CO_2		480,9	397,0c	403,8	64,37	66,69	66,23			
Summe energiebedingtes CO_2		465,9	381,6c	388,2	64,37	66,69	66,23			
Summe energiebedingtes CO_2 ohne Elektrizitätsversorgung		176,9	115,6[3]	130,2	–	–	–			
nachrichtlich: energiebedingtes CO_2 nach nationalen Inventar										
Energieindustrie und Industrie		609,4	484,8	467,2						
nachrichtlich: nicht-energiebedingtes CO_2 nach nationalen Inventar										
gesamt		27,7	25,6	26,0						
Mineralische Produkte		24,7	23,1	23,5						
Andere Prozesse		3,0	2,5	2,5						
Erfassung SVE für energiebedingtes CO_2		76 %	79 %	83 %						
Erfassung SVE für nicht-energiebedingtes CO_2 (gesamt)		54 %	60 %	60 %						
Erfassung für nicht-energiebedingtes CO_2 Mineralische Produkte		61 %	67 %	66 %						

[1] Nettofremdstrombezug mit Emissionsfaktor der öffentlichen Stromversorgung für 1990 bewertet
[2] (noch) keine Daten für indirekte Emissionen aus Selbstverpflichtung oder Monitoring verfügbar
[3] Vergleich mit 1990 und 1999 wegen unterschiedlicher Abgrenzung (fehlende Daten für Mineralölraffinerien) nicht sinnvoll

Quelle: *Umweltbundesamt 2005 b*

16. Februar 2005 in Kraft, nachdem sich zuletzt Russland im Herbst 2004 zur Ratifizierung entschlossen hatte.

Die Europäische Union hat sich im Kyoto-Protokoll verpflichtet, die durchschnittlichen Emissionen bis zum Jahr 2012 um 8 % gegenüber dem Niveau von 1990 zu verringern. Um dieses Ziel zu erreichen, arbeiten die Mitgliedstaaten in manchen Bereichen unabhängig voneinander, indem sie nationale Klimaschutzmaßnahmen ergreifen, und in anderen Bereichen gemeinsam: Die wichtigste gemeinsame Klimaschutzmaßnahme ist der Aufbau des europäischen Emissionshandelssystems für Unternehmen. Seit dem 25. Oktober 2003 ist die Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über ein System für den Handel mit Treibhausgaszertifikaten in der Gemeinschaft (2003/87/EG) in Kraft, und seit dem 1. Januar 2005 hat auf dieser Grundlage der anlagenbezogene Emissionshandel in der EU begonnen.

Das Emissionshandelssystem ist ein ökonomisches Instrument, mit dem der Ausstoß des Klimagases Kohlendioxid kosteneffizient reduziert werden kann. Die Tonne CO_2 erhält durch dieses System einen Wert, den der Markt bestimmt. Der Emissionshandel schafft Anreize für Investitionen in CO_2-sparende Technologien und für die Nutzung kohlenstoffarmer Brennstoffe.

Tab. I 5.3–2: *Prozentuale Änderung der spezifischen CO_2-Emissionen (pro Bezugsgröße) zur Selbstverpflichtungserklärung der Wirtschaft*

Verband	Spez. Emissionen 1998 zu 1990	1999 zu 1990
Gesamtverband des Deutschen Steinkohlenbergbaus	45 %	38 %
Kaliverein	−68 %	−69 %
Verein der Zuckerindustrie	−15 %	−12 %
Gesamtverband der Textilindustrie	−5 %	−1 %
Verband Deutscher Papierfabriken	−27 %	−27 %
Mineralölwirtschaftsverband	k.A.	−20 %[2]
(Teilerklärung Raffinerien)[1]	k.A.	−20 %[3]
Verband der Chemischen Industrie[4]	−33 %	−37 %[5]
	−29 %	−46 %[6]
Bundesverband der Deutschen Glasindustrie und Mineralfaserindustrie	−14 %	−18 %
Bundesverband der Feuerfest-Industrie	−31 %	−29 %
Bundesverband keramische Fliesen und Platten	−16 %	−10 %
Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie	−25 %	−21 %
Verein Deutscher Zementwerke	−25 %	−31 %[5]
	−12 %	−17 %[7]
Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie	−10 %	−13 %
Wirtschaftsvereinigung Stahl	−14 %	−18 %
Wirtschaftsvereinigung Metalle (NE-Metalle)	−19 %	−19 %
Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie	k.A.	k.A.
Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke	−13 %	−16 %

[1] Bewertung der CH_4-Emissionen nach nationalem Inventar, da Daten zum Nettofremdstrombezug aus den Daten zur Selbstverpflichtung nicht verfügbar waren, keine gesonderte Ausweisung der direkten Emissionen möglich
[2] CO_2-Emissionen
[3] CO_2- und CH_4-Emissionen
[4] Entwicklung der N_2O-Emissionen nach nationalem Inventar
[5] energiebedingte CO_2-Emissionen
[6] engergiebedingte CO_2- und N_2O-Emissionen
[7] gesamte CO_2-Emissionen

Quelle: *Umweltbundesamt 2005 b*

Prinzip des Emissionshandels

Wegen des Emissionshandels findet Klimaschutz im Ergebnis dort statt, wo er zu den geringsten Kosten verwirklicht werden kann. Das ermöglicht gleichermaßen ökologisch wirksames und ökonomisch effizientes Handeln. Den am Emissionshandel teilnehmenden Wirtschaftssektoren wird ein Emissionsbudget für einen bestimmten Zeitraum, die Handelsperiode, vorgegeben, welches das für diese Periode festgelegte Emissionsminderungsziel wiedergibt. Jeder betroffenen Anlage werden nach festen Regeln, in Deutschland nach dem Zuteilungsgesetz 2007 (ZuG 2007), kostenlos Emissionsberechtigungen zur Verfügung gestellt. Sind die Kohlendioxidemissionen eines Unternehmens geringer als die zugeteilten Emissionsberechtigungen, zum Beispiel als Folge eigener CO_2-Emissionsminderungen, können nicht benötigte Berechtigungen am Markt verkauft werden. Alternativ kann das Unternehmen Berechtigungen am Markt zukaufen, falls eigene Minderungsmaßnahmen teurer ausfallen würden. Jeweils zum 30. April eines Jahres müssen die Anlagenbetreiber Emissionsberechtigungen in Höhe ihrer tatsächlichen Emissionen des vorangegangenen Jahres abgeben. Hat das Unternehmen seine Minderungsverpflichtung nicht erfüllt oder nicht genügend Emissionsberechtigungen am Markt zugekauft, werden empfindliche Sanktionen fällig, in der ersten Handelsperiode 2005 bis 2007 40 EUR pro Tonne Kohlendioxid. Die fehlenden Emissionsberechtigungen müssen im Folgejahr zusätzlich abgegeben werden.

Weitere kostengünstige Mechanismen für den Klimaschutz

Neben dem Handel untereinander bieten sich den Unternehmen zusätzliche Möglichkeiten, um Emissionsminderungen zu erwerben. Das Kyoto-Protokoll sieht hierfür projektbezogene „Flexible Mechanismen“ vor, da Klimaschutzprojekte in anderen Staaten kostengünstiger sein können als im eigenen Land. Die EU-Mitgliedstaaten und das EU-Parlament haben sich deshalb darauf verständigt, dass EU-Unternehmen umweltschonende, projektbezogene Aktivitäten außerhalb des eigenen Landes in den obligatorischen Handel mit CO_2-Emissionsberechtigungen einbeziehen können. Dies wurde in der „Linking Directive“, einer die Emissionshandelsrichtlinie ergänzenden EU-Richtlinie, festgelegt. Die Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 2003/87/EG über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionsberechtigungen in der EU im Sinne der projektbezogenen Mechanismen des Kyoto-Protokolls („Linking Directive“) ist seit dem 13. November 2004 in Kraft. Anlagenbetreiber, die am EU-Emissionshandel teilnehmen, haben damit die Möglichkeit, einen Teil ihrer Klimaschutzverpflichtungen durch internationale Kooperationsprojekte zu erfüllen:

- Projekte in Entwicklungsländern im „Clean Development Mechanism“ (CDM)
- Projekte in anderen Industrieländern durch „Joint Implementation“ (JI) ab 2008.

Beteiligte am Emissionshandel

Am Emissionshandel sind mehrere Akteure beteiligt. Um Emissionsberechtigungen zu erhalten, stellen Anlagenbetreiber Zuteilungsanträge. Die dort genannten Emissionsdaten werden von unabhängigen Sachverständigen kontrolliert und zertifiziert. In Deutschland nimmt die Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) im UBA die Anträge entgegen, prüft die Angaben, berechnet die Zuteilungsmengen nach den Regeln des Zuteilungsgesetzes 2007 (ZuG 2007) und gibt die Berechtigungen aus. Einmal jähr-

lich reichen die am Handel teilnehmenden Unternehmen Emissionsberichte ein, die ebenfalls von Sachverständigen verifiziert werden müssen.

Register und Handel

Das Register ist ein wesentlicher Bestandteil des Emissionshandelssystems. In ihm wird festgehalten, wer im Besitz welcher Emissionsberechtigungen ist. Die Funktion des Registers ist mit der eines Grundbuches vergleichbar. Wie das Grundbuch beim Grundstückskauf, verzeichnet das Register die Besitzverhältnisse der Emissionsberechtigungen. Die europäische Emissionshandelsrichtlinie schreibt vor, dass das Register elektronisch geführt werden muss. Deutschland hat ein Register auf der Grundlage des französischen Softwaresystems ‚Seringas' aufgebaut. Es wird von der Deutschen Emissionshandelsstelle (DEHSt) im UBA betrieben.

Nach der EU-Emissionshandelsrichtlinie kann jede natürliche und juristische Person sich ein Registerkonto bei der Deutschen Emissionshandelsstelle (DEHSt) einrichten lassen und mit Emissionsberechtigungen handeln. Alle deutschen Handelskonten werden elektronisch bei der DEHSt geführt.

Die Abwicklung des Handels – also die konkreten An- und Verkäufe – ist dagegen keine staatliche Aufgabe, sondern erfolgt zwischen den emissionshandelsberechtigten Unternehmen direkt oder über private Handelsplattformen.

Emissionsbericht und Rückgabe von Emissionsberechtigungen

Zum System des Emissionshandels gehört, dass die teilnehmenden Unternehmen Emissionsberechtigungen abgeben müssen, die der Höhe der tatsächlichen Kohlendioxidemissionen entsprechen. Deshalb muss über die Kohlendioxidemissionen eines jeden Jahres Bericht erstattet werden. Der Emissionsbericht für die am Emissionshandel teilnehmenden Anlagen ist vom Anlagenbetreiber der zuständigen Landesbehörde jeweils bis zum 1. März für das vorangegangene Jahr vorzulegen. Dieser Bericht muss von einem unabhängigen Sachverständigen geprüft sein und bildet die Grundlage für die jährliche „Abrechnung" der Emissionsberechtigungen bei der DEHSt: Bis zum 30. April muss dann die Rückgabe der Emissionsberechtigungen in Höhe der tatsächlichen Emissionen der Anlage im jeweils vorangegangenen Jahr erfolgen.

Die Einführung des Emissionshandels in Deutschland: Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz (TEHG), Nationaler Allokationsplan (NAP) und Zuteilungsgesetz 2007 (ZuG 2007)

Das Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz trat am 15. Juli 2004 in Kraft. Es setzt die EU-Richtlinie über das europäische Handelssystem mit Treibhausgas-Emissionsberechtigungen (2003/87/EG) in das deutsche Recht um.

Die EU-Richtlinie schreibt für die Mitgliedstaaten die Erstellung nationaler Allokationspläne vor, in denen beschrieben ist, wie groß die zuzuteilende Gesamtmenge an CO_2-Emissionsberechtigungen ist und nach welchen konkreten Regeln und Kriterien die Zuteilung erfolgen soll. Der deutsche Allokationsplan wurde fristgerecht am 31. März 2004 vom Bundeskabinett beschlossen und der EU-Kommission zur Notifizierung vorgelegt. Er bildet die Grundlage für den Emissionshandel in Deutschland.

Der Nationale Allokationsplan 2005–2007 besteht aus zwei Komponenten: Der Makroplan bestimmt, wie viel CO_2 die dem Emissionshandel unterliegenden Anlagen der Sektoren Energie und Industrie insgesamt emittieren dürfen. Diese fixe Emissionsgesamtmenge für den Handel wird auch „Cap" genannt. Zudem enthält der Makroplan auch die maximale Gesamtmenge der Kohlendioxidemissionen für die übrigen Sektoren (Verkehr und Haushalte sowie Gewerbe, Handel und Dienstleistungen) und die Emissionsmenge für die übrigen vom Kyoto-Protokoll erfassten Treibhausgase. Für die erste Zuteilungsperiode (2005 bis 2007) wird den bestehenden Anlagen, die am Emissionshandel teilnehmen, ein Gesamtbudget von 495 Mio. t CO_2 jährlich zugeteilt. Hinzu kommt eine Reserve für Neuanlagen in Höhe von 3 Mio. t CO_2 jährlich.

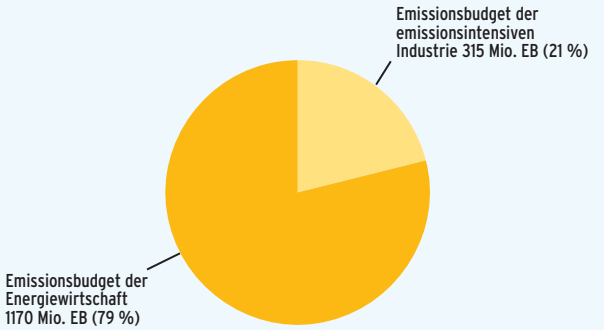
Der Mikroplan regelt die konkrete Zuteilung der Emissionsberechtigungen auf die einzelnen betroffenen Anlagen. Der Klimaschutzbeitrag des Emissionshandelssektors und die Emissionsmengen, die nach besonderen Regeln zugeteilt werden, sind im so genannten Erfüllungsfaktor enthalten: Er gibt an, inwieweit die energiebedingten Emissionen gegenüber der Basisperiode 2000–2002 zu vermindern sind. Der Erfüllungsfaktor ist für die erste Zuteilungsperiode auf 0,9709 festgesetzt, dies entspricht einer Emissionsminderungsanforderung von 2,91 % gegenüber der Basisperiode.

Der deutsche Bundestag verankerte die wesentlichen Inhalte des Nationalen Allokationsplans im Zuteilungsgesetz 2007 (ZuG 2007), welches am 31. August 2004 in Kraft trat. Die Bundesregierung konkretisierte das Zuteilungsgesetz in der Zuteilungsverornung 2007 (ZuV 2007). Zusammen mit der Emissionshandelskostenverordnung (EHKostV 2007) trat sie am 1. September 2004 in Kraft.

Verteilung der Emissionsberechtigungen

Insgesamt nehmen in Deutschland 1 849 Anlagen (Stand: 20.12.2004) aus der Energiewirtschaft und der emissionsintensiven Industrie in der ersten Handelsperiode 2005 bis 2007 am Emissionshandel teil. Es wurden 1 485 Mio. Emissionsberechtigungen für die kommenden drei Jahre ausgegeben. Davon entfallen 1 170 Mio. Emissionsberechtigungen auf die Energiewirtschaft, 315 Mio. Emissionsberechtigungen verteilen sich auf die am Emissionshandel teilnehmenden Anlagen der emissionsintensiven Industrie (Abb. I 6-1).

Abb. I 6-1: *Verteilung der Emissionsberechtigungen*

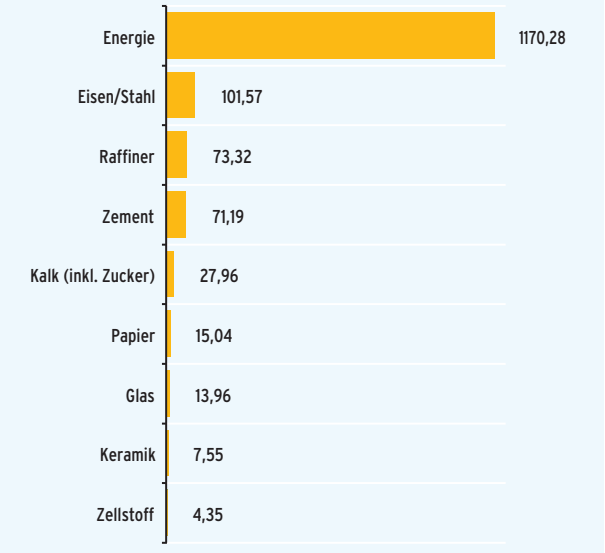


Quelle: *Umweltbundesamt 2005 c*

Verteilung der Zuteilungsmengen

Die Teilnehmer am Emissionshandel sind in der Emissionshandelsrichtlinie der EU und im nationalen Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz (TEHG) definiert. In Deutschland nehmen derzeit die Betreiber von großen Energieanlagen (mit einer Feuerungswärmeleistung über 20 Megawatt) sowie emissionsintensive Industrieanlagen teil. Auf Anlagen zur Energieerzeugung und Energieumwandlung entfallen fast vier Fünftel der Emissionsberechtigungen für die erste Handelsperiode (Abb. I 6-2).

Abb. I 6-2: *Zuteilungsmengen nach Tätigkeiten*

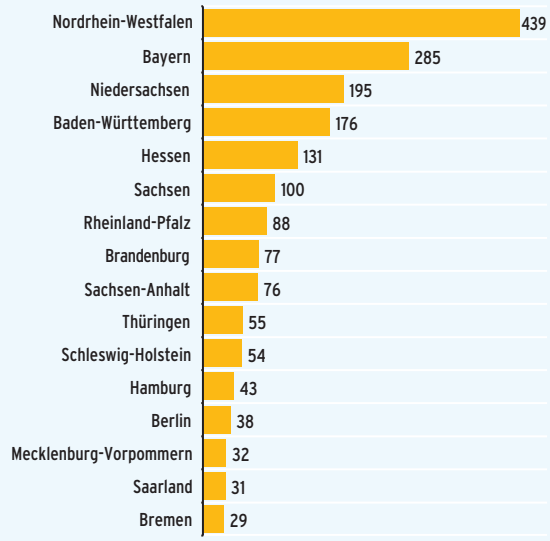


Quelle: *Umweltbundesamt 2005 c*

Anlagenverteilung nach Bundesländern

Nordrhein-Westfalen ist das Bundesland mit den meisten Anlagen, der größten Gesamtzuteilungsmenge und der größten Einzelanlage. Brandenburg hingegen ist das Bundesland, in dem die Anlagen durchschnittlich am größten sind. In Bayern und Thüringen stehen im Durchschnitt die kleinsten Anlagen. Obwohl Bayern an zweiter Stelle bei der Anzahl der Anlagen steht, steht es bei den Zuteilungen erst an sechster Stelle. In Nordrhein-Westfalen nehmen mit 439 die meisten Anlagen am Emissionshandel teil, in Bremen sind es nur 29, im Saarland 31 und in Mecklenburg-Vorpommern 32 Anlagen (Abb. I 6-3).

Abb. I 6-3: *Anzahl der Anlagen nach Bundesländern*



Quelle: *Umweltbundesamt 2005 c*

Inanspruchnahme der Zuteilungsregeln

Der Gesetzgeber hat den Unternehmen im Zuteilungsgesetz 2007 größtmögliche Flexibilität bei der Beantragung der Emissionsberechtigungen eingeräumt. Grundsätzlich konnten die Unternehmen ihre Emissionsberechtigungen entweder anhand der historischen Emissionen in der Basisperiode oder anhand angemeldeter sowie prognostizierter Emissionen beantragen. Zusätzlich hat der Gesetzgeber für bestimmte Sachverhalte im Zuteilungsgesetz 2007 Sonderregelungen vorgesehen:

- frühzeitige Emissionsminderungen (Early Action) ab dem Jahr 1994,
- prozessbedingte Emissionen, die nur durch Produktionsverringerungen zu reduzieren wären,
- KWK-Strom: Zuschlag für die besonders effiziente Stromerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplung,
- Atomkraft: Ausgleich für die zusätzliche Stromproduktion in konventionellen Kraftwerken durch die Stilllegung von Atomkraftwerken.

Die Zuteilungen nach den besonderen Zuteilungsregeln stimmen weitgehend mit den Schätzungen überein, die der Erstellung des Nationalen Allokationsplans im Frühjahr 2004 zugrunde lagen. Stärker als geplant wurden die Budgets für „prozessbedingte Emissionen“ sowie „Kraft-Wärme-Kopplung-Sonderzuteilung“ beansprucht. Um 3 Mio. Emissionsberechtigungen pro Jahr oder 9 Mio. für die Zuteilungsperiode wurde dagegen das Budget für Early Action unterschritten (Tab. I 6-1).

Tab. I 6-1: *Zuteilungsmengen nach Zuteilungsregeln*

Zuteilungsregel	Kalkuliertes Emissionsbudget im Nationalen Allokationsplan*)	tatsächliche Zuteilungen*)
§ 12 ZuG Early Action	114	111
§ 13 ZuG prozessbedingte Emissionen	69	71
§ 14 ZuG Sonderzuteilung für Kraft-Wärme-Koppelung	1,5	2
§ 15 ZuG Atomkraftwerke	1,5	1,5

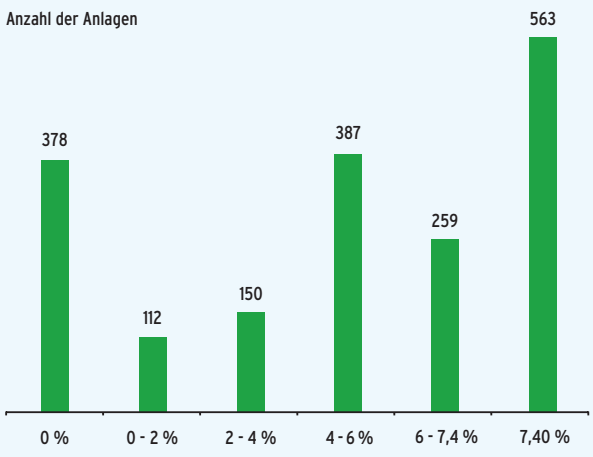
* in Mio. Emissionsberechtigungen pro Jahr

Quelle: *Umweltbundesamt 2005 c*

Wer ist von Emissionsminderungspflichten betroffen?

Das Zuteilungsgesetz 2007 (ZuG 2007) legt fest, dass die zuzuteilende Menge an Emissionsberechtigungen für die einzelnen Anlagen anteilig gekürzt werden, wenn die Summe der Zuteilungen den Wert von 495 Mio. Berechtigungen pro Jahr übersteigt (§ 4 Absatz 4 ZuG 2007). Mit dieser Regelung wird sichergestellt, dass die Summe der tatsächlichen Zuteilungen an Berechtigungen für die Sektoren Energie und Industrie in den Jahren 2005–2007 die gesetzlich vorgeschriebene Höchstgrenze (Cap) an Emissionen von 495 Mio. Tonnen Kohlendioxid pro Jahr nicht überschreitet. Die individuellen Minderungsleistungen der Anlagen unterscheiden sich je nach gewählten und anerkannten Zuteilungsregeln. Etwa ein Viertel aller Anlagen erhält Emissionsberechtigungen mit einer Gesamtkürzung von weniger als 2 %, zwei Drittel mit einer Kürzung von mehr als 4 % (Abb. I 6-4).

Abb. I 6-4: *Betroffenheit von Kürzungen nach Anzahl der Anlagen*



Quelle: *Umweltbundesamt 2005 c*

Der Emissionshandel konnte damit in Deutschland erfolgreich und fristgerecht eingeführt werden und wird einen wichtigen Beitrag zur Einhaltung der deutschen Klimaschutzverpflichtungen leisten.

I 7 Verursacherbereich Haushalte und Maßnahmen

I 7.1 Beitrag zum Treibhauseffekt und Ressourcenverbrauch

Der Energiebedarf der Haushalte sowie auch die vom Energieeinsatz ausgehenden CO_2-Emissionen hängen von der gewählten Struktur der Energieträger für Heizzwecke (Raum- und Warmwasserheizung) sowie von der Wohnfläche und der Wärmedämmung der Wohngebäude ab. Auch haben Wohn- und Gerätenutzungsverhalten einen entscheidenden Einfluss auf den persönlichen Energiebedarf.

Endenergieverbrauch und CO_2-Emissionen

Der Energieträgermix der Haushalte verschob sich im letzten Jahrzehnt zugunsten der Energieform Gas mit einer relativ geringen spezifischen CO_2-Emission. Der Anteil Gas wuchs innerhalb des betrachteten Zeitraums von 27 % auf fast 40 %, während in den Jahren nach der Vereinigung Deutschlands der Einsatz von Braunkohle von einem Anteil von fast 14 % auf unter 1 % schrumpfte (Tab. I 7.1-1).

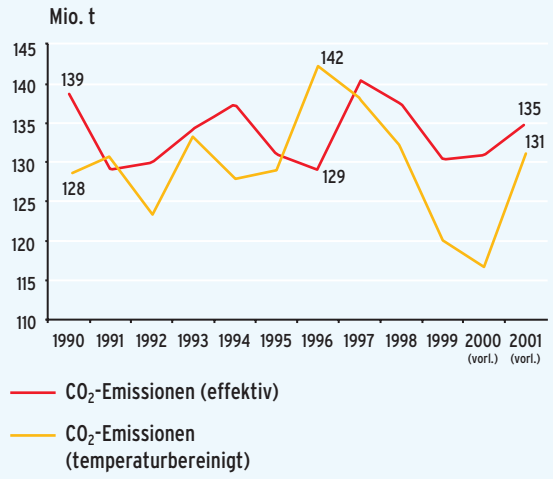
Trotz der Entwicklung zugunsten einer Energie mit vergleichsweise geringen spezifischen Emissionen nahmen die CO_2-Emissionen des Haushaltes nicht ab. Wie aus der Abb. I 7.1-1 zu ersehen, bewegten sich die CO_2-Emissionen des Haushaltes temperaturbereinigt in einer Bandbreite von rund 130 bis 140 Mio. t

Tab. I 7.1-1: *Beheizungsstruktur der deutschen Haushalte*

Energieträger	1990 in PJ	1990 in %	2002 in PJ	2002 in %
Steinkohle	9	0,4	6	0,2
Steinkohlenkoks	16	0,7	3	0,1
Steinkohlenbriketts	13	0,5	3	0,1
Braunkohlenbriketts	325	13,7	18	0,7
Übrige feste Brennstoffe	65	2,7	190	6,9
Heizöl	739	31	773	28,7
Übrige Mineralölprodukte	1	0	2	0,1
Gase	633	26,6	1 061	39,3
Strom	422	17,6	482	17,9
Fernwärme	160	6,8	161	6
Gesamt	**2 383**	**100**	**2 699**	**100**

Quelle: *Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2003 b*

Abb. I 7.1-1: *CO_2-Emissionen des Haushaltssektors*



Quelle: *Umweltbundesamt 2005 d*

CO_2 ohne einen eindeutigen Trend. Dieser negative Befund lässt sich durch einen wachsenden Endenergieverbrauch der Haushalte erklären, worin sich die Haushalte von allen anderen Verbrauchssektoren unterscheiden. Der Anstieg des Energieverbrauchs beläuft sich im Zeitraum von 1990 bis 2002 auf 13 %.

I 7.2 Ursachen für die unzureichenden Emissionsminderungen

Einer der Gründe für den negativen Trend ist die unzureichende energetische Sanierung im Altbaubereich. Dies trifft sowohl auf die unzureichende Wärmedämmung der Gebäude selbst als auch auf den abnehmenden Austausch alter Heizanlagen mit Öl- und Gasfeuerungen zu.

I 7.2.1 Wärmebedarf in Abhängigkeit vom Alter der Gebäude

Das Alter spielt eine wesentliche Rolle bei dem Energieverbrauch, je nachdem ob es sich um Gebäude der Vorkriegsjahre, der Zeit vor der Energiekrise oder der Bauperioden zwischen den verschiedenen Wärmeschutzverordnungen handelt. Seit 1975 ist ein Rückgang des Energieverbrauchs um 38 % zu verzeichnen. Allein nach der Veränderung der Wärmeschutzverordnung wäre eine Verminderung um rund 60 % zu erwarten gewesen. Die Differenz weist auf das Vollzugsdefizit hin. Weder bei der Planung noch bei der Bauausführung findet eine ausreichende Kontrolle der Standards statt. Doch auch das Wohnverhalten (höhere Raumtemperaturen, Beheizung der gesamten Wohnung) mögen die Energiesparbemühungen überkompensiert haben.

I 7.2.2 Emissionen von Kleinfeuerungsanlagen in Abhängigkeit von der Altersstruktur

Altersstruktur von Öl- und Gasfeuerungen

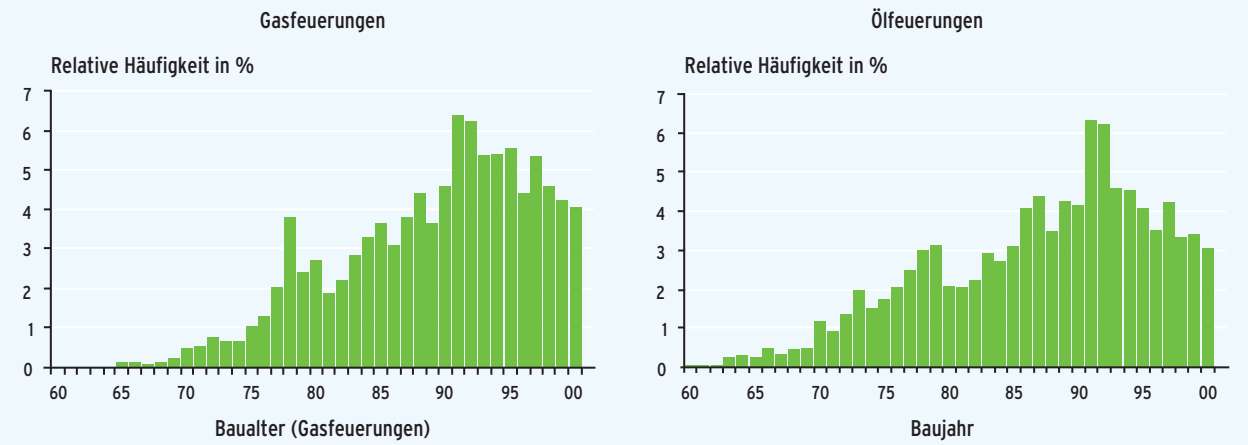
Die in diesem Abschnitt dargestellte Altersstruktur der Öl- und Gasfeuerungen basiert auf Schornsteinfegerdaten einer repräsentativen Stichprobe von rund 5 000 Ölfeuerungen und rund 11 000 Gasfeuerungen [1]. Nach einem Erneuerungsbedarf in den neuen Ländern nahm die Anzahl der jährlich neu installierten Anlagen von 1992/93 bis 2000 stetig ab. Die Bereitschaft der Anlagenbetreiber, ihre alten Anlagen rechtzeitig zu erneuern, ist deutlich gesunken. Eine Trendwende ist jedoch bis Ende 2008 zu erwarten, da die Energieeinsparverordnung vorschreibt, alte Heizkessel, die mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen beschickt werden und vor dem 1. Oktober 1978 eingebaut oder aufgestellt worden sind, unter bestimmten Bedingungen spätestens bis zum 31. Dezember 2008 außer Betrieb zu nehmen (Abb. I 7.2.2-1).

Emissionen bei Kleinfeuerungsanlagen

Nach der Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen (1. BImSchV) wird der Anlagenbestand an messpflichtigen öl-, gas- und festbrennstoffbefeuerten Kleinfeuerungsanlagen jährlich durch das Schornsteinfegerhandwerk überwacht. Erhoben werden u.a. die Leistungs- und Altersstruktur, bestimmte Emissionen sowie die Abgasverluste (Energieverluste über das Abgas).

Die 1. BImSchV legt für öl- und gasbefeuerte Anlagen leistungsabhängige Abgasverlustgrenzwerte zwischen 9 % und 11 % fest. Neue Anlagen müssen die geforderten Grenzwerte bereits seit dem 1.1.1998 einhalten, für Altanlagen gelten in Abhängigkeit vom gemessenen Abgasverlust, vom Errichtungszeitpunkt und von der Nennwärmeleistung Übergangsregelungen, die spätestens im November 2004 ausgelaufen sind. Die Tabelle I 7.2.2-1 zeigt

Abb. I 7.2.2-1: *Altersstruktur der Gasfeuerungen und Ölfeuerungen*



Quelle: *Umweltbundesamt 2005 e*

die im Jahr 2003 von den Schornsteinfegermessungen erfassten Öl- und Gasfeuerungsanlagen mit Nennwärmeleistungen ab 11 kW. Die Abbildung I 7.2.2-2 zeigt die Werte, die von den Anlagen mit einer Nennwärmeleistung über 11 kW in den letzten Jahren erreicht wurden. Das Diagramm zeigt, dass sich der Anteil der Anlagen mit sehr geringen Energieverlusten über das Abgas seit 1997 deutlich erhöht hat.

Zu den in der Tabelle enthaltenen Anlagen kommen etwa 930 000 Gasfeuerstätten und ca. 68 000 Ölfeuerstätten mit Nennwärmeleistungen zwischen 4 und 11 kW hinzu, deren Abgasverlust nicht regelmäßig gemessen wird. Daneben sind die etwa 780 000 Gasbrennwertgeräte und die etwa 18 500 Ölbrennwertgeräte nicht in der Tabelle erfasst, da bei Ihnen der Abgasverlust ebenfalls nicht gemessen wird.

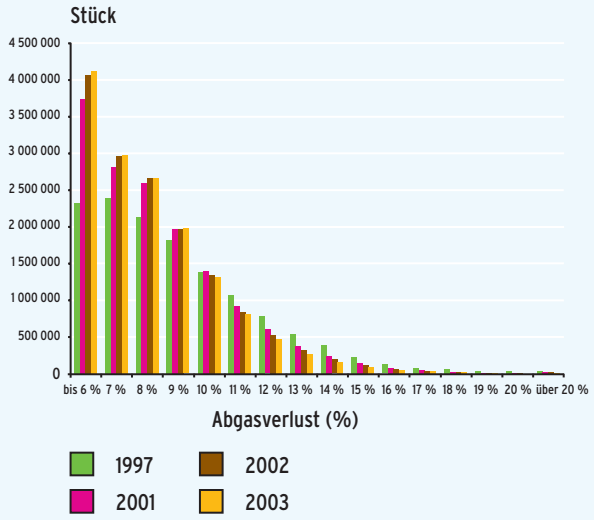
Tab. I 7.2.2-1: *Bestand an Kleinfeuerungsanlagen der 1. BImSchV mit Nennwärmeleistungen ab 11 kW - unterteilt nach der Art der Feuerungssysteme und Höhe der ermittelten Abgasverlustwerte im Jahr 2003*

ermittelte Abgasverlustwerte	Heizöl-Verdampfungsbrenner ohne Brennwertkessel		Heizöl-Zerstäubungsbrenner ohne Brennwertkessel		Gasbrenner ohne Gebläse		Gasbrenner mit Gebläse		Raumluftunabhängige Gasfeuerstätten	
bis 6 %	1 988	(10,9 %)	1 284 991	(20,2 %)	2 267 797	(33,9 %)	287 833	(36,9 %)	281 299	(24,5 %)
7 %	1 734	(9,5 %)	1 232 846	(19,4 %)	1 355 763	(20,2 %)	165 078	(21,2 %)	218 247	(19,0 %)
8 %	1 938	(10,6 %)	1 229 360	(19,3 %)	1 082 463	(16,2 %)	132 312	(17,0 %)	229 839	(20,0 %)
9 %	1 960	(10,7 %)	998 571	(15,7 %)	718 370	(10,7 %)	86 919	(11,2 %)	174 853	(15,2 %)
10 %	2 030	(11,1 %)	694 701	(10,9 %)	454 014	(6,8 %)	50 433	(6,5 %)	116 636	(10,2 %)
11 %	1 960	(10,7 %)	425 570	(6,7 %)	289 110	(4,3 %)	25 611	(3,3 %)	66 961	(5,8 %)
12 %	1 719	(9,4 %)	228 765	(3,6 %)	191 752	(2,9 %)	12 248	(1,6 %)	31 667	(2,8 %)
13 %	1 356	(7,4 %)	121 578	(1,9 %)	131 602	(2,0 %)	6 909	(0,9 %)	14 289	(1,2 %)
14 %	1 010	(5,5 %)	67 742	(1,1 %)	82 629	(1,2 %)	4 073	(0,5 %)	6 271	(0,5 %)
15 %	580	(3,2 %)	36 917	(0,6 %)	50 887	(0,8 %)	2 599	(0,3 %)	3 863	(0,3 %)
16 %	416	(2,3 %)	16 499	(0,3 %)	31 960	(0,5 %)	1 650	(0,2 %)	1 476	(0,1 %)
17 %	306	(1,7 %)	10 468	(0,2 %)	21 706	(0,3 %)	1 103	(0,1 %)	862	(0,1 %)
18 %	213	(1,2 %)	6 820	(0,1 %)	10 946	(0,2 %)	626	(0,1 %)	440	(0,0 %)
19 %	128	(0,7 %)	4 235	(0,1 %)	3 622	(0,1 %)	379	(0,0 %)	324	(0,0 %)
20 %	114	(0,6 %)	2 509	(0,0 %)	1 926	(0,0 %)	256	(0,0 %)	178	(0,0 %)
über 20 %	785	(4,3 %)	7 400	(0,1 %)	4 474	(0,1 %)	1 046	(0,1 %)	616	(0,1 %)
Gesamtanlagenbestand	**18 237**	**(100 %)**	**6 368 972**	**(100 %)**	**6 699 021**	**(100 %)**	**779 075**	**(100 %)**	**1 147 821**	**(100 %)**
Überschreitung des Abgasverlustgrenzwerts[1)]	4 299	(23,6 %)	298 014	(4,7 %)	209 843	(3,1 %)	27 128	(3,5 %)	32 309	(2,8 %)
Beanstandete Anlagen	2 339	(12,8 %)	270 369	(4,2 %)	67 336	(1,0 %)	13 538	(1,7 %)	14 486	(1,3 %)

[1)] Die Abgasverlustgrenzwerte gelten nach Anhang III der 1. BImSchV auch dann noch als eingehalten, wenn der Wert um – je nach Anlagenart – 1–3 Prozentpunkte über dem Grenzwert liegt. Deshalb wird ein großer Teil der Anlagen, die den Abgasverlustgrenzwert überschreiten, nicht beanstandet. Andererseits sind unter „beanstandete Anlagen" auch diejenigen Anlagen mit aufgeführt, die aufgrund anderer Messungen beanstandet wurden (z.B. einer Überschreitung des Grenzwerts für die Rußzahl bei Ölfeuerungsanlagen)

Quelle: *Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks 2003*

Abb. I 7.2.2-2: *Abgasverluste von Kleinfeuerungsanlagen*



Quelle: *Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks 2003*

Der Bestand der im Jahr 2000 mit Festbrennstoffen (vorrangig Holz und Kohle) betriebenen Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV ist in der Tabelle I 7.2.2-2 dargestellt. Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe sind ab einer Nennwärmeleistung von 15 kW nach der 1. BImSchV überwachungspflichtig; diese Anlagen müssen, je nach Brennstoff und Anlagengröße, unterschiedliche Emissionsgrenzwerte für Staub und Kohlenmonoxid einhalten.

Tab. I 7.2.2-2: *Bestand an installierten Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe im Geltungsbereich der 1. BImSchV in Deutschland im Jahr 2000*

Energieträger	Feuerungsart	Anzahl (1 000 Stück)
Festbrennstoffe (Kohle, Holz)	Heizkessel (Zentral- und Etagenheizungen)	678,9
	Dauerbrandöfen	2 350,0
	Kachelöfen (mit Heizeinsatz oder als Grundofen)	4 300,0
	Kaminöfen	2 480,0
	Offene Kamine (mit offenem oder geschlossenem Feuerraum)	2 870,0
	Badeöfen	210,0
	Herde (und Heizungsherde)	1 750,0
Summe		**14 638,9**

Quelle: *Umweltbundesamt 2003 a*

Bei den Überwachungsmessungen durch das Schornsteinfegerhandwerk wurden im Jahr 2001 ca. 30 % der untersuchten Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe wegen erhöhter Emissionen beanstandet. Diese Anlagen müssen in der Regel neu eingestellt und gewartet werden oder ggf. durch neue Anlagen ersetzt werden.

I 7.3 Instrumente und Maßnahmen im Haushaltsbereich

Die bisherigen Bemühungen zur Reduktion der CO_2-Emissionen zeigen keinen nachhaltigen Effekt. Es ist zu hoffen, dass durch gesetzliche Regelungen, finanzielle Anreize zum Energiesparen in Gebäuden wie durch wärmedämmende Sanierungen im Altbaubestand, Berücksichtigung energiesparender Standards in Neubauten, Überwachungsmaßnahmen zur Reduktion von Klimagasemissionen sowie durch Kennzeichnung von Elektrogeräten mit einem sparsamen Energieverbrauch eine Kehrtwende im Haushaltsbereich eintritt.

I 7.3.1 Vorschriften und Förderprogramme

Ein wesentliches Instrument der Energiespar- und Klimaschutzpolitik ist die Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden, kurz Energieeinsparverordnung (EnEV) für zu errichtende Gebäude und bestehende Gebäude und Anlagen, die am 1. Februar 2002 in Kraft trat. Sie fasst die bisherigen Anforderungen der Wärmeschutz-Verordnung und der Heizungsanlagen-Verordnung zusammen und setzt neue Standards für die Energieeinsparung bei Neubauten. Der zulässige Energiebedarf der neuen Gebäude wird um 30 % gegenüber dem gegenwärtigen Anforderungsniveau gesenkt und erreicht somit den Niedrigenergie-Standard. Für Neubauten werden Energiebedarfsausweise auf der Grundlage des gesamten Energiebedarfs eingeführt, wodurch die Energietransparenz von Gebäuden erhöht werden soll.

Der Bundesrat hat am 9. Juli 2004 einer Änderungsnovelle der EnEV und der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift AVV §13 Energiebedarfsausweis zugestimmt. Die Novelle wird den Änderungen in den zugrunde liegenden Normen gerecht und hat das Ziel, für mehr Klarheit und Rechtssicherheit im Umgang mit der EnEV zu sorgen. Es werden Wärmebrücken und der sommerliche Wärmeschutz einbezogen.

Energieeinspar-Förderprogramme des Bundes dienen als finanzieller Anreiz, in die Energieeinsparung zu investieren. Der Bund übernimmt einen erheblichen Anteil der Beratungskosten. Darüber hinaus unterstützt die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) mit zinsgünstigen Darlehen Energiesparmaßnahmen in Gebäuden nach dem „KfW-CO_2-Minderungsprogramm“. Im Jahr 2003 wurde das KfW-Gebäudesanierungsprogramm modifiziert: Mit dem „ERP -Umwelt- und Energiesparprogramm“ werden Darlehen für Investitionen in betriebliche Energie-

einsparmaßnahmen besonders von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) gewährt.

I 7.3.2 Technische Maßnahmen zur Energieeinsparung

Alte Heizkessel weisen den höchsten Nutzungsgrad nur bei Dauerbetrieb auf. Da die Heizkessel früher erheblich überdimensioniert wurden, ist bei alten Heizkesseln oftmals von einer 15 %-igen Auslastung und einem Nutzungsgrad in Höhe von deutlich unter 70 % auszugehen. Die Auslastung der alten Heizkessel verschlechtert sich durch die Verminderung des Gebäudewärmebedarfs durch Wärmedämmmaßnahmen noch weiter. Durch einen Brenneraustausch können zwar die Abgasverluste so weit reduziert werden, dass die Abgasverlust-Grenzwerte der 1. BImSchV erreicht werden, doch bleiben die Auskühl- und Oberflächenverluste weiterhin hoch. Erst durch den Einbau eines modernen Niedertemperatur- oder Brennwertkessels kann eine hohe Energieeinsparung von bis zu 40 % erreicht werden.

Beispiele für einen Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung im häuslichen Bereich sind kleine Blockheizkraftwerke (BHKW) und Brennstoffzellen. Aber auch Mikrogasturbinen und Stirlingmotoren stehen für bestimmte Anwendungen der Kraft-Wärme-Kopplung zur Verfügung. Der elektrische Wirkungsgrad der BHKW für die Strom- und Wärmeerzeugung liegt bei 30 bis 40 %, der Gesamtnutzungsgrad erreicht Werte bis 90 %. Selbst für den Ein- und Zweifamilienhausbereich bieten Hersteller Kompaktanlagen an.

Der Energieaufwand für die Trinkwarmwasserbereitstellung beträgt heute 10–15 % des häuslichen Energiebedarfs mit steigender Tendenz. Bei Passiv-Energie-Häusern trägt der Energieaufwand sogar bis zu 60 % zum gesamten Energiebedarf bei. Ein Drittel des durchschnittlichen Wasserverbrauchs wird als warmes Wasser benötigt. Die größten Wärmeverluste bei zentralen Wassererwärmungsanlagen entstehen bei der Verteilung über die Warmwasser- und Zirkulationsleitungen. Diese Wärmeverluste können 20 bis 30 % des Energiebedarfs erreichen. Sie sinken mit dem Unterschied zwischen Wasser- und Umgebungstemperatur und einer wirksamen Wärmedämmung der Warmwasser- und Heizungsrohre. Nach der Heizungsanlagen-Verordnung sind Brauchwasseranlagen mit selbständig wirkenden Einrichtungen zur Begrenzung der Temperatur auf 60 °C im Normalbetrieb und zur Ein- und Ausschaltung der Zirkulationspumpen in Abhängigkeit von der Zeit auszustatten. Warmwasser- und Heizungsrohre sollten deshalb gut gedämmt sein und mindestens den Vorschriften der Heizungsanlagen-Verordnung entsprechen.

I 7.3.3 Einsatz erneuerbarer Energien

Auch in Privathaushalten findet die Nutzung erneuerbarer Energien zunehmend Zuspruch. Insbesondere kommt hier die Wärmeerzeugung durch die Nutzung von Biomasse oder solarthermische Anlagen und die Stromerzeugung durch Photovoltaik in Frage.

In den vergangenen Jahren hat sich die Technik von Heizungen auf Biomassebasis deutlich verbessert. So ist es heute kein Problem mehr, Heizwärme und Warmwasser mit automatisch beschickten Holzpelletheizungen herzustellen. Die Förderung dieser Techniken durch das Marktanreizprogramm hat nicht nur zu einem deutlichen Marktwachstum, sondern auch zu einer Technikentwicklung geführt.

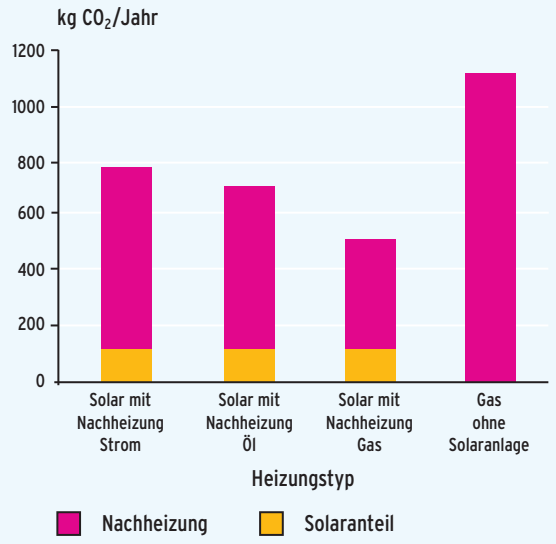
Gleiches gilt für die Wärmebereitstellung mit Solarkollektoren. Das schwankende Sonnenenergieangebot kann durch die Verwendung immer besserer gut abgestimmter Speichersysteme mit Kurz- und Langzeitwärmespeichern zumindest teilweise ausgeglichen werden. Auf die Heizperiode entfällt nur 35 % der jährlichen Sonneneinstrahlung, weshalb der Energiebedarf in der Heizperiode durch andere Energieträger ergänzt werden muss. Solarkollektoren werden üblicherweise einen Trinkwarmwasserbedarf im Sommer vollständig decken (3000 kWh pro Jahr). Soll die Sonnenenergie einen Anteil von rund 20 % bei der Raumheizung liefern, muss die Wärme mittels hochisolierter Wasserspeicher mit einem Speichervolumen von 70–80 Liter pro Quadratmeter Solarkollektorfläche bis zu einigen Tagen gespeichert werden können. Wird ein Anteil von 50 % benötigt, ist ein Speicher mit 120 bis 150 Liter pro m^2 Kollektorfläche nötig.

Wie aus der Abbildung I 7.3.3-1 hervorgeht, werden beim Einsatz von „Solar mit Nachheizung Gas“ die CO_2-Emissionen im Vergleich zur emittierten CO_2-Menge beim Einsatz von „Gas ohne Solaranlage“ um weit über 50 % gedrosselt.

I 7.3.4 Energieeffizienz und energiesparender Einsatz von Haushaltsgeräten

Seit 1998 wird der Verbraucher in Deutschland durch das EU-Energieetikett beim Kauf elektrischer Haushaltsgeräte über die Energieeffizienz informiert: seit 1.1.1998 Kühlgeräte, Gefriergeräte und deren Kombinationen sowie Waschmaschinen, Wäschetrockner und deren Kombinationen (also Waschtrockner), seit 1.3.1999 Geschirrspüler, seit 1.7.1999 Haushaltslampen und seit 1.1.2003 Raumklimageräte. Die Kennzeichnung umfasst unter anderem die Nennung des Energieverbrauches sowie

Abb. I 7.3.3-1: *Jährlicher Kohlendioxidausstoß bei der solaren Warmwasserbereitung mit verschiedenen Nachheizsystemen*



Quelle: *Umweltbundesamt 2003 b*

die Zuordnung des jeweiligen Gerätes in eine von sieben Energieverbrauchsklassen. Die Klasse „A“ steht für einen niedrigen, die Klasse „G“ für einen hohen Energieverbrauch. Die Kennzeichnungspflicht gilt für Haushaltsgroßgeräte, Klimageräte und Lampen. Sie beruht auf Richtlinien der Europäischen Union, die durch die Verordnung zur Kennzeichnung des Energieverbrauches (EnVKV) in deutsches Recht umgesetzt wurden. Da die Einteilung der Klassen auf dem Stand von vor mehr als 10 Jahren beruht und sich heute viele Geräte in der obersten Klasse befinden, sind die Angaben für den Verbraucher nur noch eine grobe Orientierung. Lediglich bei Kühl- und Gefriergeräten wird die Klasse A inzwischen in A, A+ und A++ unterteilt.

Weitere Entscheidungshilfen beim Kauf elektrischer und elektronischer Geräte sind der Blaue Engel sowie das GEEA-Zeichen, das in Deutschland die Gemeinschaft Energielabel Deutschland vergibt.

Nicht zuletzt trägt auch ein bewusster Umgang mit Haushaltsgeräten wie zum Beispiel Kühl- und Gefriergeräten, Herden und Waschmaschinen zum Energiesparen bei (detaillierte Hinweise gibt die Broschüre des Umweltbundesamtes „Energiesparen im Haushalt“, April 2004). Kompakt-Leuchtstofflampen verbrauchen rund 80 % weniger Strom als normale Glühlampen. Auch ist ihre Lebensdauer etwa achtmal so hoch wie die normaler Glühlampen. Die EU-Energiekennzeichnung gilt auch für Lampen und nennt neben der Energieverbrauchsklasse auch die Nennlebensdauer.

Eine besondere Verschwendung entsteht, wenn Geräte Energie verbrauchen, ohne ihre eigentliche Funktion zu erfüllen: im Leerlauf. Das UBA hat berechnet, dass mindestens 11 % des Stromverbrauches der Privathaushalte durch Leerlauf bedingt sind. Bereitschaftshaltung, englisch stand-by, ist die bekannteste, aber bei weitem nicht einzige Ursache für diese Verluste. Geräte wie Audio- und HiFi-Anlagen beispielsweise verbrauchen vielfach auch dann Strom, wenn der Schalter auf „Aus“ oder „Off“ steht – sie sind nur vermeintlich ausgeschaltet. Die Leerlaufverluste können vielfach nur durch vollständige Trennung des Gerätes vom Netz vermieden werden. Auf das Jahr hochgerechnet, verursachen sie in den Privathaushalten und Büros in Deutschland einen finanziellen Verlust von 3,5 Mrd. EUR (bei 18 ct/kWh für die Privathaushalte, Stand Januar 2004).

Besonders wirksame und schadstoffarme Heizungsanlagen tragen das Umweltzeichen **Blauer Engel**. Zu diesen Anlagen gehören unter anderem Brenner-Kessel-Kombinationen mit Gebläsebrenner, Gas-Brennwertkessel, Gas-Wasserheizer, Gas-Spezialheizkessel sowie moderne Klein-Blockheizkraftwerke zur gleichzeitigen Erzeugung von Wärme und Strom. Die Anlagen werden mit diesem Umweltzeichen ausgezeichnet, wenn sie bestimmte Wirkungsgrade und Schadstoffgrenzwerte einhalten. Der Blaue Engel wird zum Beispiel bei Ölbrenner-Kessel-Kombinationen nur bis zu einer Wärmeleistung von 70 kW vergeben. Ölzerstäubungsbrenner werden ausgezeichnet, da sie vor allem bei größerer Leistung eine relativ umweltgerechte Möglichkeit der Wärmeerzeugung sind. Sie sind besonders wirksam, weil das Öl in feinste Tröpfchen zerstäubt wird und so eine nahezu vollständige Verbrennung des Öl-/Luftgemisches mit geringer Ruß- und Schadstoffentwicklung erreicht wird. Weitere Informationen bietet die 2003 herausgegebene Broschüre des Umweltbundesamtes „Das Energie-Sparschwein“.

[1] Kleemann M., Heckler R., Krüger B. (2003):Umweltschutz und Arbeitsplätze durch die Tätigkeiten des Schornsteinfegerhandwerks, Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt, Jülich

I 8 Verursacherbereich Verkehr und Maßnahmen

I 8.1 Beitrag zum Treibhauseffekt und Ressourcenverbrauch

Der Verkehrssektor gilt in Deutschland neben den Haushalten als größter Endenergieverbraucher mit einem steigenden Anteil an den CO_2-Emissionen.

2003 beträgt der Anteil des Verkehrs am Endenergieverbrauch rund 28 % und übertrifft deutlich den

Endenergieverbrauch von Industrie sowie Gewerbe und Dienstleistungen (Tab. I 8.1-1). Der verkehrsbezogene CO_2- Anteil beläuft sich 2003 auf über 20 %. Die vom Verkehr ausgehenden CO_2-Emissionen stiegen zwischen 1990 und 2003 insgesamt um 4,8 % (Tab. I 8.1-2).

Tab. I 8.1-1: *Anteil Verkehr am Endenergieverbrauch in %*

	1990	1995	2000*)	2001*)	2002*)	2003*)
Verkehr	25,1	28,1	29,8	28,5	29,0	28,1

*) Vorläufige Angaben
Abweichungen in den Summen durch Rundungen
Quelle: *Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2004*

Tab I 8.1-2: *Energiebedingte CO_2-Emissionen in Deutschland im Jahr 2003: Verkehr im Vergleich zu anderen Quellgruppen*

Quellgruppe	Anteil in %	Veränderung zu 1990 in %
Verkehr gesamt	20,2	4,8
Straßenverkehr	19,0	6,4
Kraft- und Fernheizwerke	43,1	−12,4
Haushalte	14,5	−5,3
Industriefeuerungen	15,3	−34,3
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	6,8	−34,0

Quelle: *Umweltbundesamt 2005*

Unter den Verkehrsträgern trägt besonders der Straßenverkehr zu den steigenden CO_2-Emissionen bei: allein sein Anteil an den gesamten energiebedingten Emissionen betrug im Jahr 2003 19,0 %, gegenüber 1990 ist sogar ein Emissionsanstieg um 6,4 % zu verzeichnen. Die CO_2-Emissionen sind direkt vom Kraftstoffverbrauch abhängig, der im letzten Jahrzehnt deutlich stieg (Kap. I 8.2.3). Der Anstieg der Emissionen von 1990 bis 2000 ist dadurch begründet, dass die fahrzeugspezifischen Verbrauchsminderungen durch den Zuwachs der Fahrleistungen überkompensiert wurden (Kap. I 8.2). Erst seit dem Jahr 2000 ist vor allem wegen gesunkener Fahrleistungen im Personenverkehr ein leichter Rückgang der CO_2-Emissionen zu verzeichnen. Die Emissionen der anderen Klimagase (CH_4, NOx und SO_2) auf der Straße sind infolge der kontinuierlichen Verschärfung der zulässigen Abgaswerte sowie durch verbesserte Kraftstoffqualitäten drastisch zurückgegangen (Tab. I 8.1-3).

I 8.2 Ursachen für den Anstieg der CO_2-Emissionen

Ursache für den Emissionsanstieg ist eine stetige Zunahme der Fahrleistung, die einen höheren Kraftstoffverbrauch erfordert, um den vielfältigen Fahrzwecken gerecht zu werden.

I 8.2.1 Fahrleistungen, Verkehrsleistungen, Fahrzwecke

Die insgesamt von den einzelnen Verkehrsmitteln zurückgelegte Strecke stellt neben den Faktoren Geschwindigkeit und Art der Fahrzeuge die wichtigste Größe zur Ermittlung der Lärm- und Schadstoffemissionen dar.

Die Fahrleistung aller Kraftfahrzeuge in Deutschland stieg von 1991 bis 2003 um 19,6 %. Die Fahrleistungen des Personenverkehrs nahmen um 15,7 % zu. Die Fahrleistungen im Güterverkehr stiegen um 53,8 %. Der sprunghafte Anstieg der Fahrleistung der Lkw ist für die Umwelt besonders problematisch, da diese pro gefahrenen Kilometer deutlich höhere Luftschadstoff- und Lärmemissionen als Pkw verursachen (Tab. I 8.2.1-1).

Aus der Multiplikation der Fahrleistung und der Zahl der beförderten Personen bzw. Tonnen ergibt sich die in Personen- bzw. Tonnenkilometern (Pkm bzw. tkm) gemessene Verkehrsleistung. Sie gibt Aufschluss über die Verkehrsmittelbenutzung in den einzelnen Verkehrsbereichen (Modal Split). Die Entwicklung der motorisierten Verkehrsleistung von 1991 bis 2003 ist durch den Anstieg der Personenverkehrsleistung und der Güterverkehrsleistung gekennzeichnet. Die Steigerung der Verkehrsleistung im Personenverkehr betrug zwischen 1991 und 2003 21,5 %. Der motorisierte Individualverkehr nahm dabei um 22,3 % zu und behielt damit seine dominierende Stellung unverändert bei. Sein Anteil an der gesamten Personenverkehrsleistung wuchs von 1991 (81,6 %) bis 2003 (82,1%) geringfügig (Abb. I 8.2.1-1). Die mit Abstand höchsten Zuwachsraten unter allen Personenverkehrsträgern erzielt der Luftverkehr. Von 1991 bis 2003 stieg die Verkehrsleistung im Luftverkehr über Deutschland um 91,6 %. Im gleichen Zeitraum nahm die Verkehrsleistung des öffentlichen Straßen- und Schienenverkehrs um 6,1 % zu. Der Anteil dieser vergleichsweise weniger umweltbelastenden Verkehrsarten an der Gesamt-

Tab. I 8.1-3: *Emissionen des Straßenverkehrs in Gg*

	CO_2	CH_4	N_2O	NO_x	CO	NMVOC	SO_2
1990	150 261,54	62,73	9,46	1 284,78	6 684,18	1 463,85	90,20
2000	171 160,70	16,32	16,19	781,29	2 380,13	283,36	19,66
2002	166 002,00	12,82	14,45	664,63	1 910,61	213,69	2,81

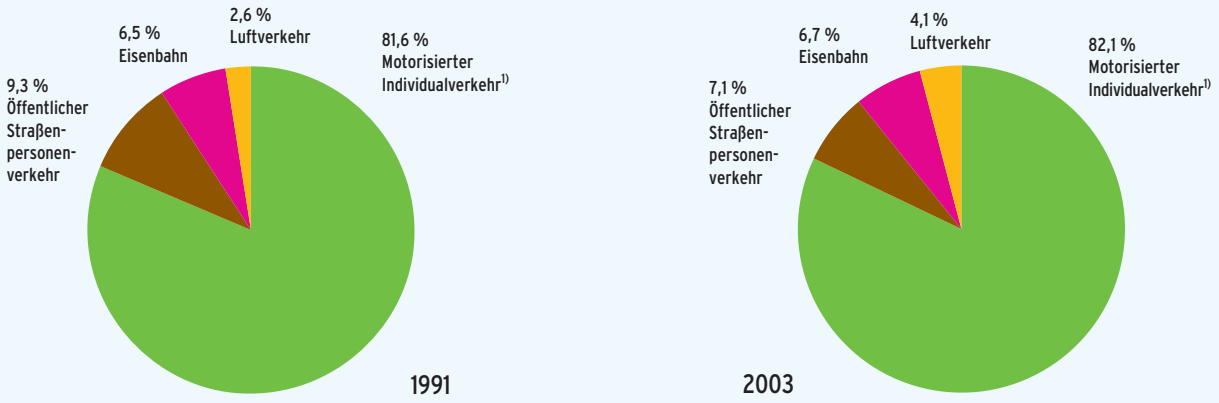
Quelle: *Umweltbundesamt 2005*

Tab. I 8.2.1-1: *Gesamtfahrleistungen nach Kraftfahrzeugarten in Mrd. km*

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Pkw	500,3	514,2	526,5	528,6	535,5	539,9	542,5	552,0	563,9	565,3	576,4	584,7	579,7
Motorräder	9,4	9,3	9,3	7,9	8,3	8,9	9,6	9,8	10,3	11,0	11,4	12,2	12,0
Mopeds	4,7	3,5	2,9	4,2	4,3	4,2	4,0	4,3	4,3	4,1	4,0	3,8	4,1
Busse	4,1	4,0	3,9	4,1	4,2	4,3	4,4	4,3	4,2	4,1	4,2	4,1	3,9
Lkw	59,5	61,7	63,1	67,3	70,7	73,5	77,3	80,4	84,2	86,4	88,5	90,7	91,5
Gesamt	**578,0**	**592,6**	**605,7**	**612,2**	**623,1**	**630,9**	**637,7**	**650,8**	**666,8**	**670,9**	**684,6**	**695,4**	**691,2**

Quelle: *Umweltbundesamt 2005 f*

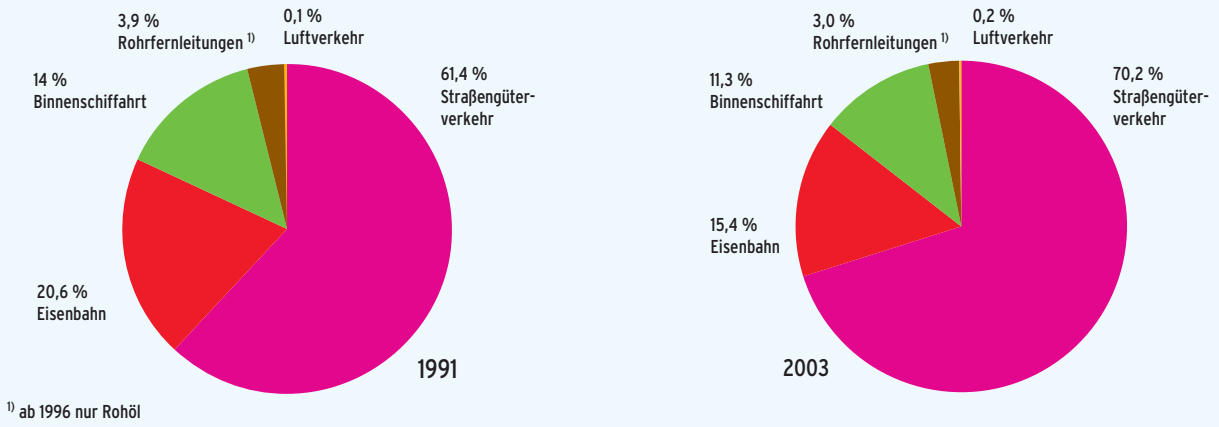
Abb. I 8.2.1-1: *Personenverkehrsleistung in Deutschland*



1) ab 1994 veränderte Methodik, die zu höheren Verkehrsleistungen führt

Quelle: *Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen 2004*

Abb. I 8.2.1-2: *Güterverkehrsleistung in Deutschland*



1) ab 1996 nur Rohöl

Quelle: *Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen 2004*

verkehrsleistung bleibt damit auf einem Niveau von ca. 14 %. Wird der nichtmotorisierte Personenverkehr (Fußgänger, Rad) in die Verkehrsleistung einbezogen, dominiert im Jahr 2002 bei der Personenverkehrsleistung der motorisierte Individualverkehr mit einem Anteil von 77,1 % eindeutig vor dem Umweltverbund (Fußgänger-, Rad-, Schienen- und öffentlicher Straßenpersonenverkehr) mit 19,1 %. Bezüglich der Fahrzwecke besitzen der Urlaubs- und Freizeitverkehr mit 44,2 % sowie der Berufs- und Ausbildungsverkehr mit ca. 23 % die größten Anteile an der Personenverkehrsleistung. Auf Dienst- und Geschäftsreisen entfallen 12,8 %, auf Einkaufsfahrten 15 % des Personenverkehrs.

Die Güterverkehrsleistung (ohne Rohrfernleitungen) stieg von 1991 bis 2003 um 29,3 %. Die größten Zuwächse erzielten der Straßengüterverkehr (+ 47,7 %).

Ausgehend von einem niedrigen Niveau, hat sich die Luftverkehrsleistung verdoppelt. Der Anteil der Güterverkehrsleistung, der auf der Straße erbracht wird, stieg von 61,5 % (1991) auf 70,2 % (2003) (Abb. I 8.2.1-2). Der Zuwachs erfolgte im Wesentlichen zu Lasten der Bahn, die 2003 nur noch 15,5 % der gesamten Güterverkehrsleistung erbringt (1991: 20,6 %). Der Anteil der umweltgerechteren Verkehrsträger Bahn und Binnenschiff, der noch 1980 in etwa gleich groß wie der des Straßengüterverkehrs war, ist somit auf unter 30 % zurückgegangen.

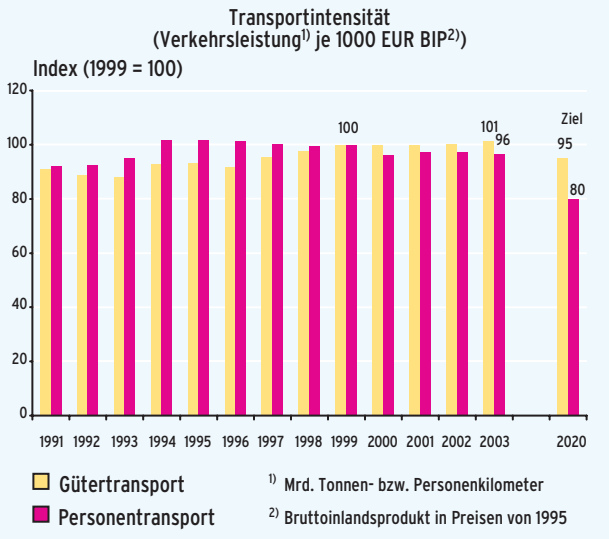
I 8.2.2 Transportintensität für den Personen- und Güterverkehr

Im Rahmen einer nachhaltigen Entwicklung soll bei Beibehaltung einer hohen Mobilität eine Erhöhung der Verkehrseffizienz angestrebt werden, um die vom Verkehr ausgehenden Belastungen für Mensch und Umwelt zu reduzieren. Ein Maß für die Verkehrseffizienz ist die Transportintensität als Verhältnis der Verkehrsleistung zum Bruttoinlandsprodukt. Es wird erfasst, wie viel Verkehrsleistung im Güter- und Personenverkehr pro Einheit Bruttoinlandsprodukt (BIP) „benötigt" wird. Bei gleichbleibender oder möglichst sinkender Verkehrsleistung (gemessen in Tonnen- bzw. Personenkilometer) und wachsender volkswirtschaftlicher Gesamtleistung (BIP) und damit sinkender Transportintensität geht die Gesellschaft effizienter mit ihren Ressourcen um und die Umweltbelastungen aus dem Verkehrssektor werden reduziert.

Ab Mitte der 90er Jahre stieg im Güterverkehr die Transportintensität an. Im Zeitraum von 2000 bis 2002 konnte zumindest ein weiteres Anwachsen der Transportintensität verhindert werden. Im Personenverkehr ist seit Mitte der 90er Jahre ein Abwärtstrend bei der Transportintensität zu erkennen. Dieser Trend verstärkt sich ab 2000 als Folge umweltpolitischer Maßnahmen (ökologische Steuerreform).

Die Bundesregierung hat sich im Rahmen der Nachhaltigkeitsstrategie 2002 das Ziel gesetzt, die Transportintensität um rund 5 % im Güterverkehr und um 20 % im Personenverkehr bis 2020 – bezogen auf 1999 – zu reduzieren. Dieses Ziel kann durch Gestaltung zukunftsfähiger Verkehrssysteme, Förderung verkehrsarmer Siedlungsstrukturen und regionaler Wirtschaftskreisläufe (Verkehrsvermeidung) sowie durch Steigerung der Effizienz der Verkehrssysteme erreicht werden (Abb. I 8.2.2-1).

Abb. I 8.2.2-1: *Transportintensität für den Güter- und Personentransport*



Quelle: *Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen 2004, Statistisches Bundesamt 2004*

I 8.2.3 Kraftstoffverbrauch

2003 wurden im Straßenverkehr in Deutschland ca. 4,4 Mrd. Liter Kraftstoff mehr verbraucht als 1991. Dies entspricht einem Anstieg des verbrauchten Kraftstoffs um 7,2 %. Während der Verbrauch im Personenverkehr im Jahr 2003 nur um 0,1 % höher lag als im Jahr 1991, stieg der Kraftstoffverbrauch im Güterverkehr von 1991 bis 2003 um 32,8 %. Der Anteil des Güterverkehrs an der im Straßenverkehr verbrauchten Kraftstoffmenge wuchs damit von 22 % im Jahr 1991 auf 27 % im Jahr 2002 (Tab. I 8.2.3-1).

Tab. I 8.2.3-1: *Kraftstoffverbrauch im Straßenverkehr in Mio. Liter*

	1991	1995	2000	2002	2003
Personenverkehr	47 821	49 729	48 893	48 985	47 892
Güterverkehr	13 285	15 409	17 134	17 518	17 641

Quelle: *Umweltbundesamt 2005 f*

Trotz fahrzeugtechnischer Weiterentwicklung hinsichtlich einer Verringerung des Kraftstoffverbrauchs und einer starken Zunahme des Anteils von Pkw mit Dieselmotor sank der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch des Pkw-Bestandes in Deutschland wegen des Trends zu leistungsstärkeren und schwereren Fahrzeugen von 1991 bis 2003 nur um ca. 1,3 Liter pro 100 km (Tab. I 8.2.3-2).

Tab. I 8.2.3-2: *Durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch von Pkw/Kombi in Liter/100 km*

	1991	1995	2000	2001	2002	2003
Verbrauch	9,2	8,9	8,3	8,2	8,0	7,9

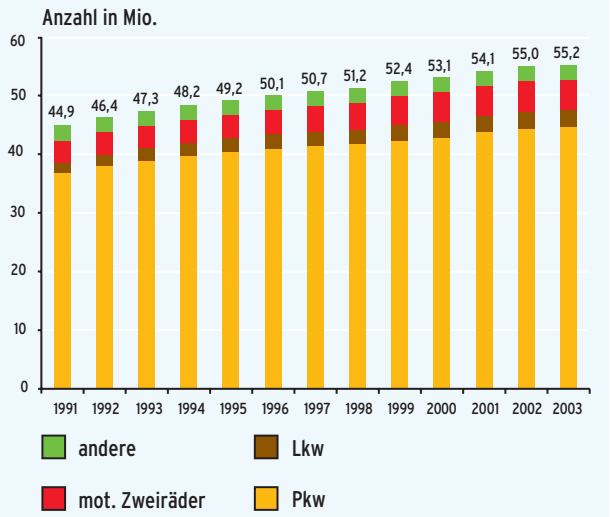
Quelle: *Umweltbundesamt 2005 f*

I 8.2.4 Kraftfahrzeugbestand

Der Kraftfahrzeugbestand in Deutschland nimmt stetig zu. 2003 gab es in Deutschland rd. 44,7 Mio. Personenkraftwagen (Pkw), 2,8 Mio. Lastkraftwagen

(Lkw) und 5,2 Mio. motorisierte Zweiräder. Die Zahl der Pkw stieg von 1991 bis 2003 um 21 %. Der Motorisierungsgrad wuchs von 460 Pkw im Jahr 1991 je 1 000 Einwohner auf 541 Pkw je 1000 Einwohner im Jahr 2003. Deutschland weist damit einen der höchsten Motorisierungsgrade in der Welt auf. Der Lkw-Bestand nahm im selben Zeitraum um 59 % zu. Lkw sind wegen ihrer leistungsstarken Motoren überproportional an den von Kraftfahrzeugen verursachten Emissionen beteiligt. Der Bestand an motorisierten Zweirädern (Motorräder, Mopeds), die im Vergleich zum Pkw weniger anspruchsvollen Umweltvorschriften unterliegen, stieg von 1991 bis 2003 gleichfalls beträchtlich an (+ 40 %), (Abb. I 8.2.4-1). 17 % der Fahrzeuge des Pkw-Bestandes im Jahr 2003 sind mit Dieselmotor ausgestattet.

Abb. I 8.2.4-1: *Entwicklung des Kraftfahrzeugbestandes*



Quelle: *Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen 2004*

I 8.3 Instrumente und Maßnahmen im Verkehrsbereich

Damit der Verkehr seinen Beitrag zum Klimaschutz und zur CO_2-Emissionsminderung leistet, ist es erforderlich, die wachsende Mobilität mit geringeren verkehrsbedingten CO_2-Emissionen zu ermöglichen. Dies kann mit einem Bündel unterschiedlicher Instrumente und Maßnahmen unterstützt werden, die zusätzlich auch weiteren Anforderungen an das Leitbild einer nachhaltigen Mobilitätsentwicklung wie die Begrenzung von Schadstoff- und Lärmemissionen sowie die Begrenzung des Flächen- und Ressourcenverbrauchs gerecht werden.

I 8.3.1 Verkehrsvermeidung durch Änderung der Raumordnung

Die Siedlungsentwicklung der letzten Jahrzehnte hat das Verkehrswachstum wesentlich bestimmt. Maßnahmen zur Steuerung der Siedlungsentwicklung können daher auch die Entstehung von Verkehr beeinflussen.

Raumordnung, Regionalplanung, Städtebau, Umweltplanung und regionale Wirtschaftsförderung müssen sich gegenseitig abstimmen und an umwelt- und klimapolitischen Zielen ausrichten. Der Ausbau der Infrastruktur, die Ausweisung von Gewerbeflächen und Produktionsstandorten sowie die Entwicklung von Wohngebieten und Stadtstrukturen müssen kurze Wege ermöglichen und damit Verkehrsaufwand vermeiden sowie das Angebot umweltverträglicher Alternativen zum Kfz-Verkehr ausweiten. Der Bundesverkehrswegeplan ist langfristig zu einem umweltorientierten Fernverkehrskonzept weiterzuentwickeln.

Die Ausweitung der Siedlungsflächen bei abnehmender Siedlungsdichte hat eine Zunahme des motorisierten Verkehrs zu Folge. Die Wege werden länger. Längere Wege bedeuten wiederum eine Abnahme der Attraktivität des nicht-motorisierten Verkehrs (Kap. I 8.2.1). Da Siedlungsräume mit geringer Dichte den Betrieb eines kostengünstigen und effizienten öffentlichen Verkehrs erschweren, fördert diese Entwicklung den Autoverkehr.

In der Verkehrsstatistik der alten Bundesländer zeigt sich diese verkehrserzeugende Wirkung der Siedlungsstrukturen in der Zunahme der durchschnittlich zurückgelegten Entfernungen pro Weg, die – je nach Verkehrszweck – im Zeitraum von 1982 bis 2002 bis zu 55 % beträgt.

Auch beim Güterverkehr lassen sich durch gezielte Ansiedlungspolitik, die Unterstützung regionaler Wirtschaftskreisläufe und der Regionalvermarktung Transportwege verkürzen. Die Regionalförderung muss Auswirkungen von Unternehmensansiedlungen auf Verkehrsleistung und CO_2-Emissionen berücksichtigen. Einer Überprüfung bedürfen EU-Subventionen, die nicht EU-weit, sondern nur für abgegrenzte Regionen gewährt werden.

Ziel einer umweltorientierten Planungspolitik ist, durch kompakte Siedlungsstrukturen, durchmischte Funktionen, wohnungsnahe Ausstattung mit Versorgungs- Dienstleistungs- und Erholungsangeboten, Nähe von Wohnen und Arbeiten und Nutzungsverdichtung die alltäglichen Wege kurz zu halten. Für längere Wege ist darüber hinaus ein guter, d.h. kurzer Zugang zu den öffentlichen Verkehrsmitteln zu planen, indem die Regionalentwicklung an den Trassen des öffentlichen Verkehrs ausgerichtet wird.

I 8.3.2 Förderung umweltgerechter Verkehrswege

Förderung des Güter- und Personenschienenverkehrs

Der Trend der Entwicklung der Verkehrswege geht also in Richtung steigender Umweltbelastungen, was auch nachstehende Vergleiche der Schadstoffemissionen der verschiedenen Verkehrsmittel belegen:

Im Personenverkehr erzeugt der inländische Flugverkehr die 3-fache, der Straßenverkehr knapp die doppelte Menge der spezifischen CO_2-Emissionen des Schienenpersonenverkehrs. Im Stadtverkehr erzeugen Pkw mit Ottomotor und Dieselmotor die 2,5- und 2,1-fache Menge der spezifischen Emissionen der Straßenbahnen. Hierbei sind die CO_2-Emissionen zur Herstellung der Kraftstoffe und zur Stromerzeugung berücksichtigt.

Der inländische Frachtluftverkehr erzeugt das 25-fache, der Straßengüterfernverkehr das 5,6-fache der spezifischen CO_2-Emissionen des Schienengüterverkehrs (TREMOD).

Die obigen Zahlenbeispiele zeigen, dass bei Verlagerung des Straßen- und Flugverkehrs auf die Schiene wegen ihres geringen spezifischen Energieverbrauchs die verkehrsbedingten CO_2-Emissionen deutlich vermindert werden können. Deshalb erklärte die Bundesregierung im Jahr 2002 eine Verdoppelung der Verkehrsleistung des Schienengüterverkehrs bis 2015 als verkehrspolitisches Ziel.

Die Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der Bahnen ist jedoch eine wesentliche Voraussetzung für das umwelt- und verkehrspolitisch begründete Ziel, mehr Verkehr auf die Schiene zu verlagern. Es sind gleiche Rahmenbedingungen für die konkurrierenden Verkehrsträger Straße, Luft und Wasser zu schaffen. Schienenverkehrsbetreiber haben die Benutzung der Infrastruktur zu bezahlen, während dies für weite Teile des Straßennetzes nicht gilt. Die Einführung der Schwerverkehrsabgabe in Deutschland ist daher ein wichtiger Schritt hin zur Gleichbehandlung von Straße und Schiene. Im Vergleich der Verkehrsträger hat die Schiene – neben den Wasserstraßen – die geringsten externen Kosten, eine Anlastung dieser Kosten würde die Wettbewerbsfähigkeit der Schienen deutlich erhöhen. Auch das Steuerrecht ist für die Verkehrsträger unterschiedlich, hier ist besonders der Luftverkehr privilegiert (Befreiung von der Umsatzsteuer im internationalen Verkehr, fehlende Kerosinsteuer).

Für die Verwirklichung einer nachhaltigen Mobilität von Gütern ist die Optimierung intermodaler Schnittstellen essenziell. Güterverkehrszentren können unter Nutzung der Informations- und Kommunikations-Technologien zu multimodalen Knotenpunkten zwischen Fern-, Regional- und Nahverkehren ausgebaut werden. Der kombinierte Verkehr der Bahn mit schnellen gebündelten Verkehren ermöglicht marktgerechte Leistungen (Post-Express-Züge, Züge des kombinierten Ladungsverkehrs) zwischen Terminals. Im Zeichen von Globalisierung und EU-Erweiterung ist es für die Wettbewerbsfähigkeit der Schiene wichtig, die Eisenbahnsysteme technisch aufeinander abzustimmen. Auch die küstennahe und Binnenschifffahrt kann Teile des Güteraufkommens übernehmen – vorausgesetzt, die Häfen erhalten leistungsfähige Anbindungen an das europäische Schienennetz. Bei der Entwicklung der Binnenschifffahrt ist darauf zu achten, dass es zu keiner weiteren Belastung naturnaher Flüsse kommt.

Effizienterer ÖPNV

Bei der Gestaltung der Mobilität kommt dem öffentlichen Personenverkehr eine herausragende Rolle zu. Der ÖPNV sichert einen vom Auto unabhängigen Zugang für alle Bevölkerungsgruppen und verursacht pro Personenkilometer im Durchschnitt nur rund ein Drittel der CO_2-Emissionen des Pkw.

Der ÖPNV-Anteil am städtischen Verkehrsaufkommen (d. h. beförderte Personen) variiert sehr stark in Abhängigkeit von den Rahmenbedingungen. Bei einem Durchschnittswert für den ÖPNV-Anteil von 15 % für den städtischen Raum in Deutschland erreichen die Spitzenwerte z.B. in Frankfurt a.M. 25 %, in München 24 % sowie in Hamburg, Dresden und Freiburg 21 %. Demgegenüber liegt der ÖPNV-Anteil in Zürich sogar bei 37 %. Voraussetzung für die Erhöhung des ÖPNV-Anteils am städtischen Verkehr ist ein gut ausgebautes Streckennetz, moderne und effiziente Fahrzeuge sowie ein kundenorientiertes Angebot an Verkehrsdienstleistungen. Ebenso wichtig, falls nicht noch wichtiger, sind Restriktionen für den städtischen Autoverkehr, vor allem ein gezieltes Parkraummanagement mit Verknappung und Bewirtschaftung von Parkflächen. Die Internalisierung der externen Kosten des Autoverkehrs trägt ebenfalls zur Verkehrsverlagerung zugunsten des ÖPNV bei.

Bund, Länder und Gemeinden fördern den ÖPNV jährlich mit Beträgen in Höhe von über 14 Mrd. EUR. Das Fördersystem ist wenig transparent und

von seiner Systematik her am Aufwand (wer viel investiert, bekommt viel) statt an der Leistung (z.B. Kundenzahl) orientiert. Um Verkehrsverlagerungen im größeren Umfang zu erreichen, ist eine Neuordnung der ÖPNV-Finanzierung, die Anreize für möglichst hohe Verkehrsleistungen, Kundenzufriedenheit und Kosteneffizienz schafft, erforderlich.

Nach Berechnungen des Umweltbundesamtes lassen sich mit jedem Prozent der Fahrten, das vom innerörtlichen Pkw-Verkehr auf den ÖPNV verlagert wird, die CO_2-Emissionen um rd. 260 000 t gegenüber dem Trend reduzieren (bezogen auf das Jahr 2010). Eine Verlagerung von 5 % des innerörtlichen Pkw-Verkehrs würde für den Öffentlichen Straßenpersonenverkehr (ÖSPV, Bus, Straßen-, Stadt- und U-Bahn) einen Zuwachs von 24 % bedeuten. Das hätte unter Berücksichtigung des Kraftstoffverbrauchs der öffentlichen Verkehrsmittel im Jahr 2010 je nach Auslastungsgrad des ÖPNV eine CO_2-Emissionsminderung von 1,3 bis 1,5 Mio. t CO_2 zur Folge.

Mehr Fahrrad- und Fußgängerverkehr

Die Öffentlichkeit unterschätzt häufig das Potenzial des Radverkehrs, da das Rad in erster Linie ein Verkehrsmittel für kurze Wege ist. Allerdings kommt auch der Pkw bei etwa der Hälfte aller Fahrten nur für Strecken bis 6 km Länge zum Einsatz, einer Entfernung, bei der die Benutzung des Pkws in der Regel noch keinen Zeitvorteil aufweist. Gerade im Kurzstreckenbetrieb sind die Emissionen von Kraftfahrzeugen besonders hoch, da wegen des kalten Motors der Kraftstoffverbrauch überproportional hoch und die Wirksamkeit des Katalysators noch nicht voll erreicht ist. Aus diesen Gründen ist die Entlastungswirkung als Folge der Verlagerung von Pkw-Fahrten auf den Radverkehr besonders groß.

Heute liegt die jährliche Radfahrleistung in Deutschland bei ca. 300 km je Einwohner, während in den Niederlanden und in Dänemark jeder Einwohner statistisch etwa 1000 km mit dem Fahrrad fährt. Mit einer konsequenten Radverkehrsförderung, durch die das Fahrradfahren in Deutschland eine ähnliche Größenordnung erreicht, könnten nach Schätzung des Umweltbundesamts 3,5 bis 12 Mio. t CO_2 jährlich eingespart werden.

I 8.3.3 Verkehrstechnische Maßnahmen

Strategie der Europäischen Union zur Reduktion von CO_2-Emissionen

Die Europäische Kommission verabschiedete 1995 die Strategie zur Minderung der CO_2-Emissionen von Pkw mit dem Ziel, den durchschnittlichen Kohlendioxidausstoß der neu zugelassenen Pkw bis zum Jahr 2005, spätestens 2010, auf 120 g/km zu senken. Die Strategie stützt sich auf drei Ansätze: eine Vereinbarung der Europäischen Kommission mit den Automobilherstellern über die Verringerung des Kraftstoffverbrauchs der neu zugelassenen Kraftwagen, steuerliche Maßnahmen und die Veröffentlichung von Kraftstoffverbrauchsangaben, die das Nachfrageverhalten der Konsumenten steuern sollen.

Gegenüber der europäischen Kommission haben sich 1998 die europäischen Automobilhersteller (ACEA) verpflichtet, die CO_2-Emissionen der neu zugelassenen Pkw mit technischen Mitteln von 187 g/km im Jahr 1995 um 25 % bis zum Jahr 2008 auf 140 g/km zu senken. Dieser Selbstverpflichtung schlossen sich die japanische (JAMA) und die koreanische (KAMA) Automobilindustrie an (Zieljahr ist hier 2009). Im Jahre 1999 wurde die Richtlinie für die Kennzeichnung der CO_2-Emissionen an den ausgestellten Pkw in den Schauräumen der Autohändler (Labelling) verabschiedet und im Juni 2005 legte die Kommission einen Vorschlag für die CO_2-bezogene Umgestaltung der Pkw-Steuern vor. Damit wurden von Kommissionsseite nun alle drei Säulen umgesetzt.

Als Zwischenziel für das Jahr 2003 wurde für den europäischen Verband eine spezifische CO_2-Emission von 165–170 g/km (Ausgangswert 1995: 186 g/km) in der Selbstverpflichtung für den Durchschnitt der in EU 15 verkauften neuen Fahrzeuge niedergelegt. Dieses Ziel wurde von den europäischen Automobilherstellern vorzeitig erreicht. Auch der japanische Verband hat sein Zwischenziel von 170–175 g/km in 2003 erreicht, und vom koreanischen Verband wird dies für das Zieljahr 2004 (Zielband 165–170 g/km) nun allgemein erwartet. Im Jahr 2003 betrug die durchschnittliche spezifische CO_2-Emission neuer Personenkraftwagen 163 CO_2 g/km (ACEA), 172 CO_2 g/km (JAMA) und 179 CO_2 g/km (KAMA). Die Zahlen der in Deutschland zugelassenen Neufahrzeuge folgt diesem Trend, wobei jedoch die Absolutzahlen etwas höher als der europäische Durchschnitt liegen.

Die starken Minderungen sind vor allem dem Zuwachs bei den Pkw mit direkteinspritzenden Dieselmotoren und Turbolader (TDI) zuzuschreiben. Ferner verschob sich das Käuferinteresse leicht zu kleineren Fahrzeugen. Für Ottomotoren ist die Einführung der Kraftstoff-Direkteinspritzung (DI-Technik) verstärkt zu erwarten. Das CO_2-Emissionsminderungspotenzial dieser Technik beträgt etwa bis zu 20 %. Praktisch wird im Augenblick von etwa 5 bis 10 % Minderungspotenzial ausgegangen.

Grenzwerte für verkehrsspezifische Schadstoffemissionen nach EU-Recht

Pkw und leichte Nutzfahrzeuge

Die Einführung des Drei-Wege-Katalysators mit Lambda-Regelung in Deutschland begann 1985 und wurde besonders durch steuerliche Förderung und ein Fahrverbot bei Ozonalarm für benzinbetriebene Pkw ohne geregelten Katalysator stark unterstützt. Mit der europäischen Richtlinie 91/441/EWG, die ab 1992 für neue Pkw-Typen, ab 1993 für alle neu zugelassenen Pkw wirksam war (EURO I), mussten alle neuen Pkw-Typen mit Ottomotor mit dieser Technik ausgestattet werden, um die Emissionsanforderungen zu erfüllen. Zu diesem Zeitpunkt waren in Deutschland bereits 37 % der Otto-Pkw im Bestand mit dieser Technik ausgestattet. Mit den Richtlinien 1994/12/EWG (EURO II, wirksam beginnend mit 1996 bzw. 1997) und 1998/69/EG (EURO III ab 2000/2001 und EURO IV ab 2005/2006) wurden die Grenzwerte verschärft und weitere Anforderungen definiert. So wird z.B. ab EURO III ein modifizierter Typprüfzyklus verwendet, welcher den Startvorgang des Motors einbezieht, zusätzlich werden die Emissionen bei tiefen Temperaturen (−7° C) mit separaten Grenzwerten begrenzt, die Verdunstungsemission wird mit deutlich höheren Anforderungen begrenzt und ab 2005 müssen Diagnosesysteme im Fahrzeug eingebaut werden, welche vor möglichen Grenzwertüberschreitungen bei Defekten im Schadstoffminderungssystem warnen (On-Board-Diagnose). Insgesamt werden mit den Stufen EURO II bis IV die Schadstoffemissionen neuer Pkw mit Ottomotor gegenüber Otto-Pkw ohne Katalysator um 90 bis 95 % reduziert. Bei Pkw mit Dieselmotor, wo bislang eine dem Drei-Wege-Katalysator mit Lambda-Regelung in ihrer Wirkung vergleichbare Abgasnachbehandlung noch nicht erforderlich war, beträgt die Minderung lediglich 75 bis 90 %. Besonders bei Stickstoffoxiden dürfen Diesel-Pkw der Stufe EURO IV etwa dreimal soviel emittieren wie Otto-Pkw. Um eine Minderung der gesundheitlichen Gefährdung durch Dieselruß und Stickstoffoxide auf das Niveau von Ottomotoren zu erreichen, ist bei Diesel-Pkw eine entsprechende Technik zur Abgasnachbehandlung (Partikelfilter, DENOX) erforderlich. Da dies momentan nicht notwendig ist, um die derzeitigen Schadstoffgrenzwerte einzuhalten, setzt sich Deutschland für eine weitere Verschärfung der Grenzwerte für Diesel-Pkw ein (Tab. I 8.3.3-1 und Tab. I 8.3.3-2).

Motorisierte Zweiräder

Für diese Fahrzeuge gelten bisher 2 Grenzwertstufen, die in den Jahren 1999 und 2002 in Kraft traten. Zukünftig werden diese Grenzwerte weiter entwickelt, wobei das Ziel darin besteht, das Emissionsniveau von modernen Pkw mit Ottomotor (EURO IV) zu erreichen (Tab. I 8.3.3-3).

Schwere Nutzfahrzeuge (LKW und Busse)

Ein ähnlicher Stufenplan wie für Pkw wurde für Schwere Nutzfahrzeuge in Europa definiert. Im Unterschied zu Pkw wird nicht die Emission am kompletten Fahrzeug auf dem Rollenprüfstand, sondern die Emission des Motors auf dem Motorenprüfstand in einer definierten Folge von Betriebszuständen gemessen. Deshalb werden die Emissionen auch nicht in g/km sondern in g/kWh, d.h. bezogen auf die im Test abgegebene Arbeit des Motors, angegeben und begrenzt. Richtlinie 1991/542/EWG definiert die Stufen EURO I und II und Richtlinie 1999/96/EG die Stufen EURO III bis V. Die dadurch zu erwartenden Reduktionsraten gegenüber der davor geltenden Regelung liegen ähnlich wie bei Diesel-Pkw, auch hier ist eine Abgasnachbehandlung bis heute nicht erforderlich. Eine entscheidende Reduktion vor allem der Partikelemission ist durch die Stufe EURO IV jedoch nicht zu erwarten. Die Stufen EURO IV und V werden voraussichtlich mit einer Abgasnachbehandlung für die Stickstoffoxidemission realisiert (Tab. I 8.3.3-4).

Tab. I 8.3.3-1: *Grenzwerte für Schadstoffemissionen von PKW*

Pkw Richtlinie	Schadstoff in g/km	EURO 1 ab 1992/1993 (T) 91/441/EWG	EURO 1 ab 1992/1993 (S) 91/441/EWG	EURO 2 ab 1996/1997 (T/S) 94/12/EG	EURO 3 ab 2000/01 (T/S) 98/69/EG	EURO 4 ab 2005/06 (T/S) 98/69/EG
Benzin	CO	2,72	3,16	2,2	2,3	1
	$HC+NO_x$	0,97	1,13	0,5	–	–
	HC	–	–	–	0,2	0,1
	NO_x	–	–	–	0,15	0,08
Diesel	CO	2,72	3,16	1	0,64	0,5
	$HC+NO_x$	0,97	1,13	0,7	0,56	0,3
	NO_x	–	–	–	0,5	0,25
	Partikel	0,14	0,18	0,08	0,05	0,025

T: Typ S: Serie

Quelle: *Umweltbundesamt 2004 a*

Tab. I 8.3.3-2: *Grenzwerte für Schadstoffemissionen für leichte Nutzfahrzeuge*

	< 1305 kg		1305–1760 kg		> 1760 kg	
EURO II g/km	**Otto 98/69/EG 3. Stufe ab 1.1.00/01**	**Diesel 98/69/EG 3. Stufe ab 1.1.00/01**	**Otto 98/69/EG 3. Stufe ab 1.1.00/01**	**Diesel 98/69/EG 3. Stufe ab 1.1.00/01**	**Otto 98/69/EG 3. Stufe ab 1.1.00/01**	**Diesel 98/69/EG 3. Stufe ab 1.1.00/01**
CO	2,3	0,64	4,17	0,8	5,22	0,95
HC	0,2		0,25		0,29	
NOx	0,15	0,5	0,18	0,65	0,21	0,78
HC + NO_x		0,56		0,72		0,86
Partikel		0,05	0,07			0,1
EURO IV g/km	**Otto 98/69/EG 4. Stufe ab 1.1.05/06 (TS)**	**Diesel 98/69/EG 4. Stufe ab 1.1.05/06 (TS)**	**Otto 98/69/EG 4. Stufe ab 1.1.05/06 (TS)**	**Diesel 98/69/EG 4. Stufe ab 1.1.05/06 (TS)**	**Otto 98/69/EG 4. Stufe ab 1.1.05/06 (TS)**	**Diesel 98/69/EG 4. Stufe ab 1.1.05/06 (TS)**
CO	1	0,5	1,81	0,63	2,27	0,74
HC	0,1		0,13		0,16	
NOx	0,08	0,25	0,1	0,33	0,11	0,39
HC + NO_x		0,3		0,39		0,46
Partikel		0,025		0,04		0,06

T/S: Typ/Serie

Quelle: *Umweltbundesamt 2004 a*

Tab. I 8.3.3–3: *Grenzwerte für Schadstoffemissionen motorisierter Zweiräder (in g/km) Stufe*

Stufe	Richtlinie	Gültig ab	Klasse	Testzyklus	CO	HC	NO_x
			Kleinkraftrad				
Euro 1	97/24/EG	17.06.1999	–	ECE R47	6	3[1)]	
Euro 2	97/24/EG	17.06.2002	–	ECE R47	1	1,2[1)]	
			Kraftrad				
Euro 1	97/24/EG	17.06.1999	2–Takt	ECE R40	8	4	0,1
			4–Takt	ECE R40	13	3	0,3
Euro 2	2002/51/EG	01.04.2003	< 150 ccm	ECE R40	5,5	1,2	0,3
			_ 150 ccm	ECE R40	5,5	1	0,3
Euro 3	2002/51/EG	01.01.2006	< 150 ccm	ECE R40, kalt	2	0,8	0,15
			_ 150 ccm	ECE R40, kalt + EUDC	2	0,3	0,15

ECE R 47: Economic Commission for Europe Regulation 47
ECE R 40: Economic Commission for Europe Regulation 40
EUDC: Extra-Urban Driving Cycle (Außerortszyklus)
[1)] Summengrenzwert

Quelle: *Umweltbundesamt 2004 a*

Tab. I 8.3.3-4: *Abgasgrenzwerte für LKW und Busse (Grenzwerte für die Typprüfung)*

	Typprüfwerte (Ab 1995 Serienwert = Typprüfwert)										
g/kWh	**RiLi 88/77 EWG seit 1988/90**	**RiLi 91/542/ EWG 1. Stufe ab 1.7.92**	**RiLi 91/542/ EWG 2. Stufe ab 1.10.95**	**RiLi 99/96/EG Stufe A ab 2000**	**RiLi 99/96/EG Stufe B1 ab 2005**	**RiLi 99/96/EG Stufe B2 ab 2008**	**RiLi 99/96/EG Stufe C EEV****	**RiLi 99/96/EG Stufe A ab 2000**	**RiLi 99/96/EG Stufe B1 ab 2005**	**RiLi 99/96/EG Stufe B2 ab 2008**	**RiLi 99/96/EG Stufe C EEV****
		EURO I	**EURO II**	**EURO III**	**EURO IV**	**EURO V**	**EEV**	**EURO III**	**EURO IV**	**EURO V**	**EEV**
CO	11,2	4,5	4	2,1	1,5	1,5	1,5	5,45	4	4	3
HC	2,4	1,1	1,1	0,66	0,46	0,46	0,25	0,78	0,55	0,55	0,4
NO_x	14,4	8	7	5	3,5	2	2	5	3,5	2	2
Partikel	–	0,36*	0,15	0,10; 0,13[a)]	0,02	0,02	0,02	0,16; 0,21[a)]	0,03	0,03	0,02
Methan[c)]	–	–	–	–	–	–	–	1,6	1,1	1,1	0,66
Rauchtrübung				0,8	0,5	0,5	0,15	–	–	–	–
	(Grenzwerte im 13-Stufen-Test)			**(Grenzwerte für ESC- und ELR-Prüfung)**				**(Grenzwerte für ETC-Prüfung)**			

Auf den Grenzwert für die Partikelemission wird bei Motoren mit einer Leistung von höchstens 85 kW ein Koeffizient von 1,7 angewandt.
** Enhanced Environmentally Friendly Vehicle (besonders umweltfreundliche Fahrzeuge)
Messungen für EURO 1. und 2. Stufe erfolgen im 13-Stufen-Test
Messungen für EURO III bis V erfolgen im ESC und ELR-Verfahren bzw. ETC-Test
[a)] Für Motoren mit einem Hubraum von unter 0,75 dm^3 je Zylinder und einer Nennleistungsdrehzahl von über 3000 U/min
„C" Gilt nicht für mit Gas betriebene Motoren in Stufe A und Stufe 2000 und 2005 und 2008
EEV: Enhanced Environmentally Friendly Vehicle
ESC: European Stationary Cycle
ELR: European Load Reponse Test
ETC: European Transient Cycle

Quelle: *Umweltbundesamt 2004 a*

Tab. I 8.3.3-5: *Grenzwerte für Mobile Maschinen und Geräte der Stufen 1 und 2*

Leistung (kW)	CO g/kWh)	HC (g/kWh)	NOx (g/kWh)	PT (g/kWh)	Datum für Typzulassung	Datum für Serienzulassung
	1. Stufe	1. Stufe	1. Stufe	1. Stufe	nach dem	nach dem
37 < P < 75	6,5	1,3	9,2	0,85	30.06.1998	31.03.1999
75 < P <130	5	1,3	9,2	0,7	30.06.1998	31.12.1998
130 < P < 560	5	1,3	9,2	0,54	30.06.1998	31.12.1998
	2. Stufe	2. Stufe	2. Stufe	2. Stufe		
18 < P < 37	5,5	1,5	8	0,8	31.12.1999	31.12.2000
37 < P < 75	5	1,3	7	0,4	31.12.2002	31.12.2003
75 < P <130	5	1	6	0,3	31.12.2001	31.12.2002
130 < P < 560	3,5	1	6	0,2	31.12.2000	31.12.2001

Quelle: *Umweltbundesamt 2004 a*

Mobile Maschinen und Geräte

Auch im Bereich der Mobilen Maschinen und Geräte hat sich die Abgasgesetzgebung in kontinuierlichen Schritten weiter entwickelt und der Geltungsbereich ausgedehnt. Die Grenzwertstufen 1 und 2 gelten ausschließlich für Baumaschinen mit einer Leistung von max. 560 kW. Im April 2004 wurden die Grenzwertstufen 3 und 4 verabschiedet. Im Rahmen dieser Gesetzgebung wurde der Geltungsbereich der Richtlinie deutlich ergänzt. Hinzu kamen Dieselmotoren für den Bahneinsatz, den Binnenschiffsbetrieb und stationär betriebene mobile Dieselmotoren in Aggregaten (Tab. I 8.3.3-5).

Kleine Benzinmotoren

Die kleinen Benzinmotoren gehören auch in den Geltungsbereich der Richtlinie 97/68 (Tab. I 8.3.3-6). Durch den reinen ottomotorischen Betrieb haben sie kaum Gemeinsamkeiten mit den Dieselmotoren, die von dieser Richtlinie erfasst werden. Deshalb wurden die Grenzwerte in einer separaten Richtlinie 2002/88 geregelt. Wegen des weltweiten Marktes für diese Motoren wurde gezielt auf bereits in den USA geltende Grenzwerte eingegangen (Tab. I 8.3.3-7).

Tab. I 8.3.3-6: *Größenklassen der Benzinmotoren*

Klasse	Hubraumklassen in cm^3	Anwendung
	Handgehaltene Maschinen	
Klasse SH: 1	< 20	Trimmer/Freischneider
Klasse SH: 2	>/= 20 bis < 50	Motorsägen, Trimmer/ Freischneider, Sonstige
Klasse SH: 3	>/= 50	Motorsägen, Trimmer/ Freischneider, Sonstige
	Nicht handgehaltene Maschinen	
Klasse SN: 1	< 66	Rasenmäher
Klasse SN: 2	>/= 66 bis < 100	Rasenmäher
Klasse SN: 3	>/= 100 bis < 225	Rasenmäher
Klasse SN: 4	>/= 225	Aufsitzmäher

S: Kleinere Motoren mit einer Nutzleistung von unter 19 kW; H: Motoren für handgehaltene Maschinen; N: Motoren für nicht handgehaltene Maschinen

Quelle: *Umweltbundesamt 2004 a*

Tab. I 8.3.3-7: *Emissionsgrenzwerte[1)] für Otto-Motoren mit einer Nennleistung von unter 19kW*

Klasse	CO in g/kWh	HC in g/kWh	NOx in g/kWh	HC+NO_x in g/kWh
		Stufe I		
SH: 1	805	295	5,36	–
SH: 2	805	241	5,36	–
SH: 3	603	161	5,36	–
SN: 1	519	–	–	50
SN: 2	519	–	–	40
SN: 3	519	–	–	16,1
SN: 4	519	–	–	13,4
		Stufe II		
SH: 1	805	-	10	50
SH: 2	805	–	10	50
SH: 3	603	–	10	72
SN: 1	610	–	10	50
SN: 2	610	–	10	40
SN: 3	610	–	10	16,1
SN: 4	610	–	10	12,1

[1)] Die Ermittlung der Emissionswerte erfolgt nach den Zyklen der ISO-Norm 8178-4

Einführungstermine

Die EU-Richtlinie 2002/88 sieht unterschiedliche Einführungstermine für die Grenzwertstufen vor. Diese sind von den Maschinentypen abhängig.

	SH 1	SH 2	SH 3	SN 1	SN 2	SN 3	SN 4
Stufe I	Aug 04	Aug 04	Aug 04	Aug 04	Aug 04	Aug 04	Aug 04
Stufe II	Aug 10	Aug 10	Aug 11	Aug 04	Aug 04	Aug 08	Aug 06

S: Kleinere Motoren mit einer Nutzleistung von unter 19 kW; H: Motoren für handgehaltene Maschinen; N: Motoren für nicht handgehaltene Maschinen

Quelle: *Umweltbundesamt 2004 a*

Sportboote

Mit der Richtlinie 94/25/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Sportboote wurde eine Regelung für den Europäischen Raum geschaffen. Die 1998 in Kraft getretene Richtlinie befasst sich mit der Auslegung und dem Bau von Sportbooten. Ziel war es, „Harmonisierte Bestimmungen über Abgas- und Geräuschemissionen von Sportbooten“ zu schaffen.

Am 16. Juni 2003 trat die Richtlinie 2003/44/EG zur Änderung der Richtlinie 94/25/EG in Kraft. In ihr

Tab. I 8.3.3-8: *Grenzwerte für Sportboote*

Typ	Kohlenmonoxid CO = A + B / P_N^n g/kWh			Kohlenwasserstoffe HC = A + B / P_N^n g/kWh			Stickoxide NOx g/kWh	Partikel
	A	B	n	A	B	n		
Zweitakt-Ottomotoren	150,0	600,0	1,0	30,0	100,0	0,75	10,0	Nicht zutreffend
Viertakt-Ottomotoren	150,0	600,0	1,0	6,0	50,0	0,75	15,0	Nicht zutreffend
Kompressionszündungs-Motoren	5,0	0	0	1,5	2,0	0,5	9,8	1

Quelle: *Umweltbundesamt 2004 a*

werden erstmals Grenzwerte für die Abgas- und Geräuschemissionen von Sportbooten innerhalb der Mitgliedstaaten festgelegt. Diese gelten für das ab 01.01.2006 in den Verkehr zu bringenende Selbstzündungs- und Viertakt-Fremdzündungsmotoren und ab 01.01.2007 für Zweitakt-Fremdzündungsmotoren.

Die spezifischen Emissionen kleiner Motoren sind, relativ betrachtet, höher als die großer Motoren. In der angegebenen Formel steht Term A für ein Basisniveau bei hohen Motorleistungen und Term B / P_N^n für einen Zuschlag für Motoren mit geringerer Leistung. Bei der Berechnung der Grenzwerte werden auch die unterschiedlichen Motorkonzepte berücksichtigt, es wird zwischen Zweitakt- und Viertakt-Ottomotoren und Kompressionszündungsmotoren unterschieden (Tab. I 8.3.3-8).

Kraftstoffe

Neben der Begrenzung der Schadstoffemission im Abgas werden auch neue Anforderungen an die verschiedenen Kraftstoffarten eingeführt, die in der Richtlinie 1998/70/EG definiert sind. Insbesondere wird dadurch der Schwefelgehalt ab 2005 auf 50 ppm bei Otto- und Dieselkraftstoff reduziert (schwefelarmer Kraftstoff). Schwefelarme Kraftstoffe sind für den Einsatz neuartiger Abgasnachbehandlungssysteme für die Minderung von Stickstoffoxiden und Partikeln bei Pkw und Nutzfahrzeugen eine wesentliche Unterstützung oder sogar eine Voraussetzung. Darüber hinaus hat die Europäische Union beschlossen, im Zeitraum 2005 bis 2009 eine weiter verbesserte Kraftstoffqualität mit höchstens 10 ppm Schwefel (schwefelfrei) einzuführen, welche für die Funktion und Standfestigkeit neuartiger Abgasbehandlungssysteme bei gleichzeitiger Ausschöpfung des Verbrauchsminderungspotenzials erforderlich ist. Diese schwefelfreie Kraftstoffqualität ist in Deutschland bereits ab Anfang 2003 flächendeckend am Markt verfügbar.

Alle genannten Richtlinien können nach EU-Recht durch steuerliche Förderung zusätzlich unterstützt werden, um die frühzeitige Einführung entsprechender Fahrzeuge, Motoren oder Kraftstoffe zu beschleunigen. Diese Möglichkeit wurde bereits 1997 mit dem Kraftfahrzeugsteueränderungsgesetz wahrgenommen, wodurch Pkw mit geringer Schadstoffemission (auch CO_2) besonders niedrig besteuert und zusätzlich bis zu einer bestimmten Summe von der Steuer befreit, alte Pkw ohne Katalysator dagegen höher besteuert werden.

Schadstoffarme Pkw und Kombi in Deutschland

Der Anteil schadstoffreduzierter Pkw ist im Zeitraum 1992 (47 %) bis 2003 (97 %) stark angestiegen (Tab. I 8.3.3-9). Dieser Trend schlägt sich auch in einer Reduktion der spezifischen Schadstoffemissionen des Straßenverkehrs in Deutschland nieder.

Tab. I 8.3.3-9: *Entwicklung schadstoffarmer Pkw und Kombi*[1)]

		1992	1995	2000	2003
Schadstoffarme Pkw und Kombi	in Mio.	17,8	30,8	40,5	43,3
Anteil am Bestand PKW und Kombi	in %	47,0	76,2	94,6	96,9

[1)] Fahrzeuge nach Richtlinie 70/220/EWG sowie nach Anlagen XXIII (US-Norm) und XXV (EG-Norm) der StVZO bis 2002: Stand 1.7.; ab 2001 Stand 1.1.

Quelle: *Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen 2004*

Spezifische Schadstoffemissionen des Straßenverkehrs in Deutschland

Spezifische CO_2-Emissionen neu zugelassener Pkw

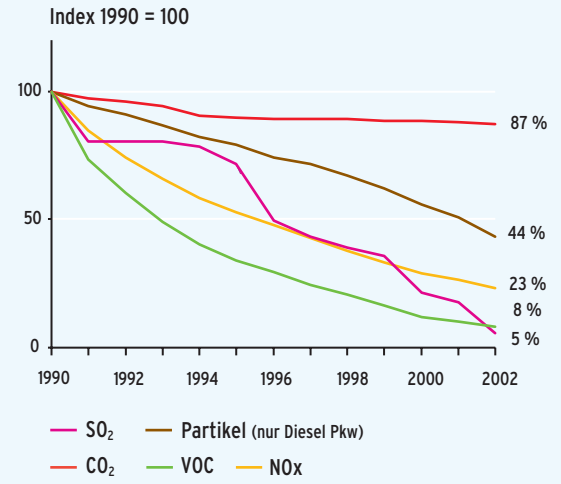
Nach Auswertungen des Kraftfahrt-Bundesamtes sind die mittleren CO_2-Emissionen der in Deutschland neu zugelassenen Pkw (Typprüfwerte nach 1999/100/EG) weiterhin rückläufig. Im Jahr 2003 liegt der mittlere CO_2-Wert in Deutschland bei 175,9 g/km.

Spezifische Schadstoffemissionen der Verkehrsflotte auf der Straße

Personenkraftwagen:
Durch stufenweise Verschärfung der Abgasvorschriften für neu zugelassene Pkw, durch Nachrüstung von Alt-Pkw mit Katalysatoren sowie durch verbesserte Kraftstoffqualität konnten die spezifischen Emissionen pro Verkehrsleistung (Personenkilometer) gegenüber 1990 in allen Bereichen gesenkt werden. SO_2 konnte um 95 %, VOC um 92 %, CO_2 jedoch nur um 13 % gesenkt werden.

In Bezug auf die Gesamtemissionen des motorisierten Individualverkehrs zeigt sich jedoch, dass die technisch bedingten Senkungen je Personenkilometer bei CO_2 und Dieselrußpartikeln zum Teil wieder durch eine insgesamt höhere Verkehrsleistung kompensiert werden (Abb. I 8.3.3-1).

Abb. I 8.3.3-1: *Spezifische Emissionen Pkw*

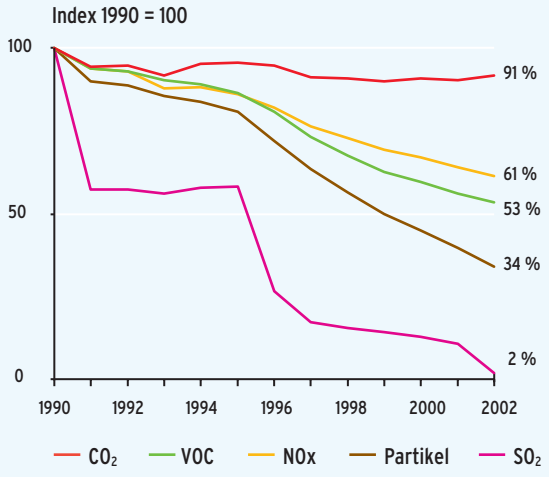


Quelle: *Umweltbundesamt 2004 a*

Lastkraftwagen:
Durch motortechnische Verbesserung der Lkw und bessere Kraftstoffqualität konnten die spezifischen Emissionen pro Verkehrsleistung (Tonnenkilometer) gegenüber 1990 in allen Bereichen gesenkt werden. Erheblichen Senkungen von SO_2 um 98 % steht eine wesentlich geringer ausfallende Senkung der CO_2-Emissionen um 9 % gegenüber (Abb. I 8.3.3-2).

In Bezug auf die Gesamtemissionen des Straßengüterverkehrs zeigt sich auch hier mit Ausnahme der SO_2-Emissionen, dass die technisch bedingten Senkungen je Tonnenkilometer wegen der erheblich gestiegenen Verkehrsleistung teilweise (Partikel) oder fast vollständig (VOC) kompensiert und bei Dieselrußpartikeln und CO_2 sogar stark überkompensiert wurden.

Abb. I 8.3.3-2: *Spezifische Emissionen Lkw*



Quelle: *Umweltbundesamt 2004 a*

I 8.3.4 Finanzpolitische Maßnahmen

Subventionsabbau und Abgaben im Flugverkehr

Der Flugverkehr stellt ein immer größeres Problem für den Klimaschutz dar. Hauptgrund ist das starke Wachstum der Flugbewegungen. Die NO_x-Emissionen in großen Höhen sowie die Abgabe von Wasserdampf unter Bildung von Kondensstreifen oder Zirrus-Wolken, tragen zu einer Erwärmung bei. Die Klimawirksamkeit der Emissionen des Flugverkehrs ist wegen der Emissionshöhe zwei- bis viermal höher, als wenn die gleiche Menge bodennah emittiert würde [1].

Die hohe Klimawirksamkeit der Emissionen in großer Höhe und das starke Wachstum an Flugreisen erfordern wirksame Klimaschutzmaßnahmen im Luftverkehr. Aus klimapolitischer Sicht ist es nicht zu vertreten, in welchem Ausmaß der Luftverkehr von Steuern befreit ist und andere staatliche Vergünstigungen erhält. So zahlt die gewerbliche Luftverkehrswirtschaft keine Mineralölsteuer auf Kerosin, und für grenzüberschreitende Flüge wird keine Umsatzsteuer erhoben. Darüber hinaus profitieren die Fluggesellschaften und Flughäfen von der Möglichkeit, bei über die EU hinausgehenden Reisen und in Duty Free Shops Waren ohne Umsatzsteuer zu verkaufen. Hieraus ergeben sich Steuerersparnisse in Höhe von mehreren Millionen Euro jährlich.

Flughäfen erhalten zudem direkte Subventionen, vor allem für Investitionen in die Infrastruktur sowie Steuerbefreiungen. Eine Analyse der öffentlichen Infrastrukturinvestitionen für die 17 deutschen Verkehrsflughäfen und der Luftverkehrsüberwachung ergab, dass deren Einnahmen die damit verbundenen Kosten nicht decken. Bund und Länder als Haupteigentümer unterstützen die Flughäfen erheblich aus öffentlichen Mitteln [2]. Auch die Anbindung der Flughäfen an das Schienen- und Straßennetz wird nahezu vollständig vom Staat finanziert, obwohl sie ausschließlich den umweltbelastenden Flugverkehr begünstigt. Schließlich wird auch die Flugzeugindustrie, etwa für die Entwicklung und den Bau von Flugzeugen, subventioniert und profitiert von hohen steuerlichen Abschreibungen von bis zu 20 % pro Jahr.

Die wichtigsten Maßnahmen zum Abbau der Steuervergünstigungen des Flugverkehrs betreffen die Einführung einer Kerosinsteuer und die Erhebung der Umsatzsteuer für den inländischen Anteil grenzüberschreitender Flüge. Für beide Maßnahmen hat das UBA zusammen mit dem Statistischen Bundesamt von der Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung Simulationsrechnungen durchführen lassen, mit deren Hilfe unter anderem der Einfluss auf die CO_2-Emissionen prognostiziert werden kann.

Würde ab 2005 die derzeitige Befreiung des gewerblichen Flugverkehrs von der Mineralölsteuer europaweit abgeschafft und eine Kerosinsteuer in Höhe von 0,302 EUR pro Liter Kerosin erhoben – dies entspricht der am 31.10.2003 in Kraft getretenen Energiesteuerrichtlinie 2003/96/EG, die den Mitgliedstaaten die Möglichkeit einräumt, unilateral eine Kerosinsteuer einzuführen – verteuerte sich der Personenflugverkehr um durchschnittlich 3,3 % und der Luftfrachtverkehr um ca. 11 %. Dadurch könnten allein in Deutschland die CO_2-Emissionen bis 2020 um durchschnittlich 1,5 Mio. t pro Jahr gegenüber der prognostizierten Entwicklung sinken.

Auch die Abschaffung der Umsatzsteuerbefreiung für Auslandsflüge trüge zur Verringerung der CO_2-Emissionen und damit zum Klimaschutz bei. Würde der inländische Streckenanteil für den grenzüberschreitenden Flugverkehr mit 16 % Mehrwertsteuer belastet, reduzierten sich die Verkehrsleistungen des Flugverkehrs gegenüber der derzeitig prognostizierten Entwicklung bis 2020 um ca. 6 %. Mit dem zusätzlichen Umsatzsteueraufkommen könnte die Senkung der Mehrwertsteuer für den Bahnfernverkehr von derzeit 16 auf 7 % – vorbehaltlich deren rechtlicher Zulässigkeit – finanziert werden. Die Substitution des Individualverkehrs durch die Bahn und die Reduktion des Luftverkehrs führten bis 2020 zu einer dauerhaften Verminderung der CO_2-Emissionen um über 1,3 Mio. t pro Jahr [3].

Neben dem Abbau der Subventionen, durch die u.a. eine Gleichbehandlung der verschiedenen Verkehrsträger erreicht werden soll, sind Maßnahmen erforderlich, die konkret eine Minderung der Emissionen bewirken. Hierbei kann auch eine streckenbezogene Emissionsabgabe ein geeignetes Instrument des Klimaschutzes im Flugverkehr darstellen. Eine solche Abgabe sollte die während der gesamten Flugstrecke bis zur Landung anfallenden CO_2- und NO_x-Emissionen erfassen. Dadurch würden stärkere Anreize zur Emissionsminderung geschaffen und der Einsatz emissionsärmerer Maschinen gefördert. Eine Emissionsabgabe von 6 Cent je kg CO_2 und 13,7 Cent je kg NO_x könnte dazu führen, dass sich die klimawirksamen Emissionen des Flugverkehrs gegenüber dem Status quo um ca. 5 % reduzierten [4].

Alternativ wird derzeit untersucht, inwieweit der Flugverkehr in ein offenes Emissionshandelssystem einbezogen werden kann. So werden derzeit auf europäischer Ebene Möglichkeiten erarbeitet und diskutiert, den seit Anfang 2005 bestehenden EU-Emissionshandel für Industrieanlagen auf Flugzeuge zu erweitern. Wie stark ein auf den Flugverkehr erweiterter Emissionshandel zum Klimaschutz beiträgt, hängt dabei davon ab, welche Menge an Emissionsrechten den Flugzeugen zugestanden wird. Darüber hinaus ist entscheidend, ob der EU-Emissionshandel erweitert wird, so dass auch außerhalb der EU anfallende Flugverkehrsemissionen erfasst würden.

Einführung und Erweiterung einer Lkw-Maut

Eine „streckenbezogene Gebühr für die Benutzung von Bundesautobahnen mit schweren Nutzfahrzeugen“ (Lkw-Maut) belastet seit Anfang 2005 Lkw ab 12 t mit einer durchschnittlichen Abgabe von 12,4 Cent für jeden auf deutschen Autobahnen gefahrenen Kilometer. Die Mauthöhe ist nach Zahl der Achsen und nach Emissionsklassen differenziert. Die Maut lastet dem Schwerlastverkehr die Wegekosten für das Autobahnnetz an und schafft Anreize zur vorgezogenen Einhaltung anspruchsvollerer Emissionsanforderungen. Gleichzeitig erzielt der Bund jährlich Einnahmen in Höhe von rd. 2,6 Mrd. EUR (ohne Erhebungskosten).

In einem Forschungsprojekt des UBA hat das Institut für Wirtschaftsforschung und Wirtschaftspolitik der Universität Karlsruhe (IWW) die Verkehrs- und Umweltauswirkungen einer nach Emissionen und Gewicht differenzierten Lkw-Maut untersucht [5]. Nach den Ergebnissen dieser Studie bewirkt die Lkw-Maut vor allem wegen ihrer Differenzierung nach Schadstoffklassen eine Entlastung der Umwelt. Hierdurch wird die Bereitschaft der Fuhrunternehmen gefördert, alte Fahrzeuge schneller durch neuere Lkw mit geringeren Luftschadstoffemissionen zu ersetzen. Die derzeitige Lkw-Maut von durchschnittlich 12,4 Cent pro Kilometer ist ein wichtiger Schritt zu einer verursachergerechteren Kostenanlastung. Gleichzeitig begünstigt sie jedoch das Ausweichen von Lkw auf nachgeordnete Straßen – insbesondere bei kurzen Transporten unter 150 km. Das IWW rechnet damit, dass sich das Verkehrsaufkommen auf nachgeordneten Straßen um durchschnittlich 4,5 % erhöhen wird, mit deutlichem Schwerpunkt auf Abkürzungs- und Parallelstrecken. Hingegen hat die Maut nur einen geringen Einfluss auf die CO_2-Emissionen.

Nur eine deutlich erhöhte Lkw-Maut und ihre Ausdehnung auf das gesamte Fernstraßennetz könnte spürbar zur Verkehrsvermeidung und zur Reduzierung der vom Güterverkehr ausgehenden Umweltbelastung beitragen. Auch die von der Lkw-Maut erhoffte Verlagerung der Straßengütertransporte auf die Bahn dürfte sich durch die derzeit beschlossene Maut nicht erfüllen, zumindest solange sich die logistische Qualität der Bahntransporte nicht deutlich verbessert.

Eine höhere Maut für alle Bundesfernstraßen könnte die Umweltbeeinträchtigungen durch den Güterverkehr deutlich stärker vermindern, indem sie das voraussichtliche Wachstum des Straßengüterverkehrs verlangsamt und – bei einem deutlich besseren Angebot der Eisenbahn im weitlaufenden Güterverkehr – verstärkt Güter von der Straße auf die Bahn verlagert. Ein Mautsatz von 20 Cent pro Kilometer, der auf allen Bundesfernstraßen erhoben wird, würde die Kosten im Straßengüterverkehr bis 2010 um 25 % gegenüber heute erhöhen. Würde gleichzeitig mit einem Teil des Mautaufkommens das Schienengüterverkehrsangebot spürbar verbessert, ließen sich der Straßengüterverkehr und die damit verbundenen Umweltbeeinträchtigungen um etwa 2,7 % verringern. Gleichzeitig könnte die Bahn ihren Transportanteil halten oder sogar leicht steigern. Die CO_2-Emissionen ließen sich bis 2010 um über 2,7 Mio. t pro Jahr reduzieren.

In einer gesamtwirtschaftlichen Simulationsrechnung konnte die GWS zeigen, dass diese Maßnahme nicht allein positive Umweltwirkungen, sondern auch gesamtwirtschaftliche Vorteile hätte. Zwar würden die höheren Kosten in der Transportwirtschaft die Güterpreise gesamtwirtschaftlich geringfügig (durchschnittlich um 0,2 %) erhöhen, die damit verbundenen negativen volkswirtschaftlichen Wirkungen würden jedoch dadurch mehr als ausgeglichen, dass der Staat die zusätzlichen Mauteinnahmen für höhere öffentliche Ausgaben, z.B. für eine bessere Verkehrsinfrastruktur, verwenden könnte. Dies führte insgesamt dazu, dass langfristig die Beschäftigung und das Bruttoinlandsprodukt gegenüber der Basisprognose leicht ansteigen würden. Die positiven ökonomischen Effekte sind auch darauf zurückzuführen, dass ein erheblicher Anteil der Mauteinnahmen von ausländischen Transportunternehmen stammt.

Mineralölsteuer

Mit der Einführung der Ökologischen Steuerreform wurde u.a. die Mineralölsteuer auf Benzin und Diesel von April 1999 bis Anfang 2003 schrittweise um insgesamt 15,34 Cent je Liter erhöht (Kap. I 3). Für den ÖPNV gelten Ökosteuererstattungen von 5,4 Cent je Liter Diesel oder Benzin sowie Stromsteuerermäßigungen von 44% für Schienenbahnen und Oberleitungsbusse.

Das Aufkommen der gesamten Ökosteuer wird für das Jahr 2005 auf 18,8 Mrd. EUR geschätzt [6]. Der allergrößte Teil der Einnahmen dient der Senkung der Rentenversicherungsbeiträge von Arbeitgebern und Arbeitnehmern von 20,3 % im Jahr 1998 auf 19,5 % seit 2003. Ohne Ökosteuer lägen sie im Jahr 2004 bei mindestens 21,2 %.

Durch den Ökosteueranteil der Mineralölsteuer erhöht sich der Kraftstoffpreis für Benzin um ca. 15 % und für Diesel um etwa 18 %. Für den durchschnittlichen Autofahrer bedeutet dies Mehrkosten von 156 EUR im Jahr. Für ein verbrauchsgünstiges Fahrzeug reduzieren sich die Kosten (5-l-Auto: 92 EUR/Jahr). Wegen der Senkung der Sozialversicherungsbeiträge werden diese Mehrausgaben in der Regel mehr als kompensiert. So zahlt ein Erwerbstätiger mit einem Bruttojahreseinkommen von 40 000 EUR rund 340 EUR/Jahr weniger für die Sozialversicherung. Bei 30 000 EUR Jahreseinkommen spart er immer noch 255 EUR. Die Regelung belastet allerdings diejenigen Teile der Bevölkerung, die keiner sozialversicherungspflichtigen Tätigkeit nachgehen, neben Selbständigen vor allem Rentner, Studenten und Bezieher von Arbeitslosengeld.

Die Mineralölsteuer unterstützt die Nachfrage nach Fahrzeugen mit niedrigem Verbrauch und beschleunigt den Ersatz von Fahrzeugen mit hohem Verbrauch. Sie bietet einen Anreiz zum kraftstoffsparenden Fahren sowie zum Einsatz kraftstoffsparender Reifen und Öle. So ist der Absatz von Kraftstoffen erstmals in vier aufeinanderfolgenden Jahren (2000–2003) zurückgegangen. Erhöhte graue Importe (im Ausland getankte Treibstoffe, die in Deutschland in Fahrleistung umgesetzt werden) kompensieren zwar teilweise den inländischen Rückgang, insgesamt bleibt jedoch eine deutliche Verminderung des Kraftstoffverbrauchs in Deutschland zugelassener Kraftfahrzeuge in der Größenordnung von 2 % für den Zeitraum 1999 bis 2003 zu konstatieren. Demgegenüber konnte der ÖPNV in den letzten Jahren steigende Fahrgastzahlen verzeichnen, und auch andere umweltverträgliche Verkehrsträger wie Bahn, Rad- und Fußgängerverkehr wurden attraktiver.

Bei einer aktuellen repräsentativen Umfrage im Auftrag des UBA gab rund die Hälfte der befragten Autofahrer an, wegen der im Rahmen der Ökologischen Steuerreform erhöhten Mineralölsteuer benzinsparend zu fahren oder das Auto manchmal stehen zu lassen und andere Verkehrsmittel zu benutzen [7].

CO_2-bezogene Kfz-Steuer

Mit der Umgestaltung bestehender Abgaben unter Umweltgesichtspunkten können ökonomische Anreize zu einem umweltverträglicheren Konsumverhalten gesteigert werden. So sieht die Koalitionsvereinbarung der Bundesregierung vor, die Kfz-Steuer nach der CO_2-Emission auszurichten, um damit die Entwicklung und den Absatz kraftstoffsparender Fahrzeuge zu fördern.

Die Differenzierung der Kfz-Steuer zur Förderung emissionsarmer Fahrzeuge hat sich in der Vergangenheit bewährt. Sie beschleunigte maßgeblich die Entwicklung und die Marktdurchdringung umweltverträglicher Fahrzeuge. Um die Markteinführung kraftstoffsparender Pkw zu fördern, hat sich die Bundesregierung im Koalitionsvertrag dafür ausgesprochen, die Kfz-Steuer gemeinsam mit den Ländern aufkommensneutral umweltgerecht weiterzuentwickeln und die CO_2-Emissionen der Kraftfahrzeuge in die Bemessungsgrundlage aufzunehmen.

Die Wirkungen einer nach CO_2-Emissionen differenzierten Kfz-Steuer hat die Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung in einer Simulationsrechnung untersucht. Dabei wird angenommen, dass die Bemessungsgrundlage der Kfz-Steuer von Hubraum auf die durchschnittlichen CO_2-Emissionen pro Kilometer umgestellt wird, wobei – wie derzeit in der Kfz-Steuer – höhere Steuersätze für Diesel-Pkw als für Otto-Pkw gelten. Um den Anreiz für die Anschaffung verbrauchsarmer Pkw zu erhöhen, wird darüber hinaus unterstellt, dass die für einen Pkw zu zahlende Steuer mit den durchschnittlichen CO_2-Emissionen pro Kilometer progressiv steigt. Insgesamt soll das Aufkommen aus der Kfz-Steuer gegenüber heute nicht steigen.

Nach dieser Simulationsrechnung führt die CO_2-bezogene Kfz-Steuer versärkt zur Anschaffung und Nutzung von Fahrzeugen mit geringerem Durchschnittsverbrauch. Es ist davon auszugehen, dass wegen der stärkeren Nachfrage nach verbrauchsarmen Pkw der spezifische Verbrauch der neuzugelassenen Diesel-Pkw gegenüber der Vergleichssituation ohne CO_2-bezogene Kfz-Steuer zusätzlich um bis zu 3,4 % sinkt. Bei Benzin-Pkw wird der Durchschnittsverbrauch sogar wegen größerer technischer Potenziale um bis zu 5,5 % niedriger liegen als ohne diese Maßnahme. Nach den Ergebnissen der Simulationsrechnung würden die CO_2-Emissionen des Pkw-Verkehrs bis zum Jahr 2020 insgesamt um rd. 2,7 Mio. t CO_2 niedriger liegen als in der Basisprognose. Die Umgestaltung der Kfz-Steuer hätte keine nennenswerten gesamtwirtschaftlichen Wirkungen.

[1] IPCC 1999: Aviation and the Global Atmosphere, Special IPCC Report, UNEP/WMO 1999.

[2] CE et al. 2002: Solutions for Environment, Economy and Technology et al.: Financial Support to the Aviation Sector, UFOPLAN-Vorhaben Nr. 299 96 106, Schlussbericht, Delft, Februar 2002.

[3] GWS 2004: Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung: Schätzung der Wirkung umweltpolitischer Maßnahmen im Verkehrssektor unter Nutzung der Datenbasis der Gesamtrechnungen des Statistischen Bundesamtes, Studie im Auftrag des Statistischen Bundesamtes in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt, Schlussbericht, Osnabrück, August 2004.

[4] UBA 2001: Umweltbundesamt (Hrsg.): Maßnahmen zur verursacherbezogenen Schadstoffreduzierung des zivilen Flugverkehrs, Texte des Umweltbundesamtes 17/01, Berlin 2001

[5] IWW 2001
Rothengatter, Werner; Doll, Klaus: Anforderungen an eine umweltorientierte Schwerverkehrsabgabe für den Straßengüterverkehr; Texte des Umweltbundesamtes Nr. 57/01, Berlin 2001.

[6] BMF 2004: Bilanz der Ökologischen Steuerreform, Berlin, Oktober 2004.

[7] ecologic 2004: Auswirkungen der Ökologischen Steuerreform auf private Haushalte, Berlin, November 2004

I 9 Klima, Land- und Forstwirtschaft

I 9.1 Beitrag zu den Treibhausgasen

Der Einsatz mineralischer Düngemittel und die Tierhaltung sind die bedeutendsten Emissionsquellen klimarelevanter Gase aus der Landwirtschaft.

So entsteht das klimawirksame Spurengas Methan (CH_4) sowohl bei der Verdauung (Fermentation) landwirtschaftlich genutzter Wiederkäuer (Rinder und Schafe) sowie durch die Lagerung von Wirtschaftsdüngern. Der Wirtschaftsdünger ist gleichzeitig Quelle des klimawirksamen Lachgases (N_20) und seiner Vorläufersubstanzen (NO_x und N_2), dies gilt in erster Linie für Wirtschaftsdünger aus der Einstreuhaltung (Festmist).

Die Methanemissionen sind zu etwa 95 % auf die Rinderhaltung zurückzuführen; innerhalb der Rinder sind Milchkühe die bedeutendsten Emittenten. Der Rinderbestand ging zu Beginn der 90er Jahre als eine Folge der deutschen Vereinigung stark zurück, weshalb die CH_4-Emissionen aus der Tierhaltung um ca. 22 % deutlich abnahmen (3,24 Tg/a im Jahr 1990, 2,59 Tg/a im Jahr 2002), gleichzeitig erhöhte sich der Anteil der Landwirtschaft an der Gesamtemission aus Deutschland von 30,4 % auf 41,8 %. Diese Entwicklung ist auf die größeren Emissionsminderungserfolge in anderen Sektoren zurückzuführen.

An der Methanemission aus dem Wirtschaftsdünger sind die Rinder mit 63 % wiederum am stärksten beteiligt.

Die Emissionen von Distickstoffoxid (N_2O) und Stickoxid (NO_x) aus Wirtschaftsdünger nahmen aus den genannten Gründen ebenfalls ab, bleiben jedoch seit etwa 1994 konstant (Tab. I 9.1-1).

Tab. I 9.1-1: *Emissionen von Klimagasen aus Nutztierhaltung und Wirtschaftsdünger in Tg*

Stoff	Quelle	1990	1996	2000	2002
CH_4	Verdauung	1,63	1,35	1,26	1,28
	Wirtschaftsdünger	1,61	1,35	1,3	1,31
N_2O	Wirtschaftsdünger	0,01	0,01	0,009	0,009

Quelle: *Umweltbundesamt 2005*

Klimagase aus landwirtschaftlich genutzten Böden

Auch die Böden sind Emissionsquelle von klimarelevanten Gasen. Es werden direkte und indirekte Emissionen unterschieden. Die direkten Emissionen stickstoffhaltiger klimarelevanter Gase (N_2O, NO_x) stammen überwiegend aus der Düngung mit mineralischen N-Düngern und Wirtschaftsdüngern sowie aus der biologischen N-Fixierung und Pflanzenrückständen im Boden. Indirekte N_2O-Emissionen werden aus der atmosphärischen Deposition von reaktiven Stickstoffverbindungen aus landwirtschaftlichen Quellen, dem ausgewaschenen Stickstoff und dem Abfluss von aufgebrachtem Stickstoff berechnet (Tab. I 9.1-2).

Tab. I 9.1-2: *Emissionen stickstoffhaltiger Klimagase aus landwirtschaftlich genutzten Böden in Gg*

Klimagas	1990	1996	2000	2002
N_2O	141	120	125	120
NO	65	55	57	54

Quelle: *Umweltbundesamt 2005*

I 9.2 Maßnahmen in der Landwirtschaft

Eine wesentliche klimawirksame Maßnahme ist die Senkung des Stickstoffüberschusses in den Böden vorzugsweise durch optimierte Anwendung von Wirtschaftsdüngern und mineralischen Düngemitteln sowie durch Ausweitung des ökologischen Landbaus. Ein deutlicher Trend zur Verringerung des Stickstoffüberschusses als Folge der 1996 erlassenen Düngeverordnung ist bisher nicht erkennbar.

Der Viehbestand, gemessen in Großvieheinheiten, ist zwischen 1990 und 2000 um rund 21 % zurückgegangen, was besonders auf veränderte Ernährungsgewohnheiten der Bevölkerung, Nahrungsmittelskandale, aber auch auf die BSE-Krise sowie Umstellungen in der Landwirtschaft der neuen Länder zurückzuführen ist.

Die wichtigste Minderungsmaßnahme ist die Verringerung des Stickstoff-Inputs in den Gesamtkreislauf. Hierfür sind folgende Maßnahmen im Bereich der Tierhaltung umzusetzen:

Milchkühe

- Optimierung des Energie/ Protein-Verhältnisses,
- Einsatz von pansenstabilem Eiweiß zur Verbesserung der mikrobiellen Stickstoffausnutzung,
- Leistungssteigerung bei gleichzeitiger Verringerung des Milchkuhbestandes,
- Verringerung des Erstkalbealters.

Schweine/Geflügel

- Phasenfütterung und Optimierung der Aminosäurereversorgung

Das Wirtschaftsdüngermanagement trägt ebenso zur Emissionsminderung bei, folgende Maßnahmen stehen dabei im Vordergrund:

- Schaffung ausreichender Außenlagerkapazitäten,
- Minimierung der Zwischenlagerzeiten der Gülle im Stall,
- Abdeckung der Lagerbehälter,
- Verringerung der emittierenden Oberfläche beim Festmist durch bauliche und technische Maßnahmen,
- emissionsarme Ausbringung zum optimalen Zeitpunkt.

Eine weitere wichtige Minderungsmaßnahme ist die Ausweitung der energetischen Nutzung der Wirtschaftsdünger (inklusive der Co-Vergärung mit anderen energiereichen Substraten).

Bei großen Tierhaltungsanlagen ist eine Abluftreinigung (inklusive saurer Wäsche zur Rückgewinnung des Stickstoffes) eine weitere sinnvolle Minderungsmaßnahme.

I 9.3 Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LUCF)

Nach § 1.8 des Klimarahmenabkommens sind Senken Mittel und Prozesse, Aktivitäten oder Mechanismen, die Treibhausgase, Aerosole oder Vorläufersubstanzen von Treibhausgasen aus der Atmosphäre zu entfernen. Die terrestrische Biosphäre – in erster Linie Wälder- ist je nach Vorratsentwicklung eine Nettosenke oder eine Quelle für CO_2. Bei der Photosynthese nehmen die grünen Pflanzen Kohlendioxid aus der Luft auf und binden es in organischer Form. Bei Abbau der organischen Substanz wird CO_2 wieder frei. Emissionen und Festlegungen von CO_2 aus LUCF sind für Deutschland von Bedeutung nur für die Bereiche Änderung des Waldbestandes und an-

derer Biomassenbestände und CO_2-Emissionen und Festlegungen von CO_2 im Boden.

Änderung des Waldbestandes und anderer Biomassebestände

Die Quellen – oder Senkenwirkung des Waldes kann aus einem Vergleich zwischen Zuwachs und Holzernte ermittelt werden. Dabei wird nach der Methode von IPCC angenommen, dass das geerntete Holz schon im Jahr der Holzernte abgebaut und das gebundene CO_2 vollständig freigesetzt wird, wodurch die Senkenfunktion des Waldes unterschätzt wird. Der Vergleich zwischen Zuwachs und Holzernte ergibt für Deutschland z.Z. eine Zunahme der im Wald gespeicherten Biomassevorräte, d.h. es wird mehr Kohlenstoff in der Vegetation eingebunden als durch die Holzernte aus dem Wald entfernt wird. Der deutsche Wald ist gegenwärtig eine Nettosenke für CO_2, die nach ersten Ergebnissen der 2. Bundeswaldinventur 2002 größer ist, als bisher angenommen (Tab. I 9.3-1).

CO_2-Emissionen und Festlegungen im Boden

Böden sind bedeutende Speicher von Kohlenstoff. Global ist etwa fünfmal mehr Kohlenstoff im Boden gespeichert als in der Vegetation [1]. Die Nutzung des Bodens für landwirtschaftliche Zwecke führt zu erheblichen CO_2-Emissionen. Besonders bei Entwässerung organischer Böden wird organische Substanz schnell oxidiert und CO_2 in hohen Mengen freigesetzt. Insgesamt übertreffen damit für Deutschland die Emissionen aus den landwirtschaftlichen Böden die Festlegungen von CO_2 in den Wäldern. Verstärkte Zufuhr organischer Substanz in dem Ackerboden, vermindertes Pflügen u.a. sind Maßnahmen zur Minderung der CO_2-Emissionen aus dem Boden. Die Pflege und der Erhalt bestehender Wälder sowie Erstaufforstungen sind bereits bewährte Maßnahmen in Deutschland, um die Senkenwirkung des Waldes zu erhöhen.

Tab. I 9.3-1: *Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft in Gg*

	1990	1995	2000	2002
Änderung des Waldbestandes und andere Biomasseänderung[1)]	−33 688,74	−33 399,91	−25 402,15	−25 402,15
CO_2-Emissionen und Festlegungen im Boden	41 203,97	39 052,83	39 499,17	39 308,64

[1)] Festlegung von CO_2 (Senke)

Quelle: *Umweltbundesamt 2004 b*

[1] Special Report on Land Use, Land Use Change and Foresty, IPCC, 2000, S.4, Tab. 1

II UNERWÜNSCHTE STOFFE UND SCHADSTOFFE

II 1 Schadstoffbelastungen des Menschen

Die Messung von Fremdstoffen in körpereigenen Flüssigkeiten oder Geweben des Menschen bezeichnet man als Human-Biomonitoring. Am häufigsten werden hierbei Blut, Urin und Muttermilch untersucht. In diesen Körpermedien lassen sich Fremd-/Schadstoffe, die über den Verzehr von Lebensmitteln und Trinkwasser, die Atmung oder über die Haut in den Körper aufgenommen wurden, oder deren Stoffwechselprodukte nachweisen. Das Human-Biomonitoring ist daher wie kein anderes Verfahren in der Lage, die tatsächliche innere Belastung des Menschen mit Fremd-/Schadstoffen, die auch als interne Exposition bezeichnet wird, festzustellen. Die Aufnahme der Fremdstoffe kann erst kurz oder auch länger zurückliegen.

Neben den meist in Tierversuchen erhobenen toxikologischen Daten über Wirkungen ist das Human-Biomonitoring für eine sachgerechte gesundheitliche Bewertung von Schadstoffen aus der Umwelt wichtig, denn nur dieses gibt darüber Auskunft, was von den Fremdstoffen aus Lebensmitteln oder der Umwelt wirklich beim Menschen ankommt, und zeigt so, bei welchem Schadstoff Minderungsmaßnahmen erforderlich sind. Jegliche Fremdstoffbelastung des Menschen kann unerwünschte Folgen haben. Die Fremdstoffaufnahme sollte daher so gering wie möglich und im Hinblick auf gesundheitliche Wirkungen akzeptabel sein.

Ob sich das neue europäische Regelwerk zur Chemikalienpolitik, das auch unter „REACH“ bekannt ist, bewähren wird, wird sich auch an den Ergebnissen des Human-Biomonitoring zeigen, das nach wie vor ein unverzichtbares Kontrollinstrument für den Erfolg umweltpolitischer Maßnahmen ist und bleiben wird. REACH ist die Abkürzung von Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals, zu Deutsch Registrierung, Bewertung und Zulassung von Chemikalien. Dieses Regelwerk liegt gegenwärtig im Entwurf vor. Durch REACH soll der Kenntnisstand über die für Gesundheit und Umwelt schädlichen Eigenschaften derjenigen Stoffe verbessert werden, von denen mehr als eine Tonne pro Jahr von einem Hersteller produziert und in den Verkehr gebracht wird. Das Human-Biomonitoring ist auch für Chemikalien, die unter einer Tonne von mehreren Herstellern jährlich produziert werden, unabdingbar.

Bei einigen in Blut-, Urin- oder Muttermilchproben nachweisbaren Fremdstoffen ist nicht bekannt, über welchen Aufnahmepfad sie hauptsächlich in den menschlichen Organismus gelangen. In diesen Fällen sind weitergehende Untersuchungen erforderlich, um die Aufnahmepfade und Belastungsquellen zu identifizieren und gegebenenfalls Maßnahmen zur Minimierung zu erarbeiten und einzuleiten.

Nachfolgend stellen wir vor allem die Ergebnisse von zwei unterschiedlichen Human-Biomonitoring-Programmen vor, die in Deutschland seit Mitte der 80er Jahre durchgeführt werden. Der Umwelt-Survey untersucht eine für die erwachsene und/oder kindliche Bevölkerung Deutschlands nach Alter und Geschlecht sowie Gemeindegrößenklasse repräsentative Stichprobe. 1985/86 (nur alte Länder) untersuchte man Erwachsene, 1990/92 waren es Kinder, Jugendliche und Erwachsene, 1998 nur Erwachsene [1]. Das Schadstoffspektrum, auf das Blut und Urin untersucht werden, ist sehr breit angelegt. Um Hinweise auf mögliche Ursachen der korporalen Schadstoffbelastungen aus dem Wohnumfeld zu erhalten, untersucht man im Haushalt auch Trinkwasser-, Innenraumluft- und Hausstaubproben (Staubsaugerbeutelinhalt). Die Interpretation der Messergebnisse des Umwelt-Survey bezieht auch die Informationen aus einem Fragebogen zu umweltrelevanten Verhaltensweisen und belastungsrelevanten Bedingungen in Haushalt und Wohnumfeld ein. Zu den Zielen des Umwelt-Survey gehört die Erfassung, Bereitstellung, Aktualisierung und Bewertung repräsentativer Daten für eine gesundheitsbezogene Umweltbeobachtung und -berichterstattung auf nationaler Ebene.

Die für verschiedene Altersgruppen erhobenen repräsentativen Daten dienen der Ableitung von Referenzwerten. Referenzwerte werden von der Kommission Human-Biomonitoring (HBM) [2] des Umweltbundesamtes abgeleitet. Der Referenzwert ist die Konzentration eines Stoffes in einem Körpermedium (z. B. Blut oder Urin), die bei 95% der untersuchten Personen nicht überschritten wird. Referenzwerte sind rein statistisch abgeleitet und haben keine direkte gesundheitliche Bedeutung. Das heißt, eine Überschreitung des Referenzwertes muss keine Gesundheitsgefahr bedeuten, ebenso wie eine Unterschreitung des Wertes nicht beweist, dass keine Gesundheitsgefahr besteht. Sie werden für die Beurteilung, ob bestimmte Personengruppen oder Einzel-

personen im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung besonders stark mit einem Schadstoff belastet sind, eingesetzt und bei anlassbezogenen oder regional begrenzten Studien sowie für die Bewertung von Untersuchungen bei Einzelpersonen z.B. von Gesundheitsämtern herangezogen. Die repräsentativen Daten dienen außerdem der Darstellung regionaler und zeitlicher Unterschiede und können daher zur Erfolgskontrolle umweltpolitischer Maßnahmen herangezogen werden. Seit Mai 2003 führt das Umweltbundesamt den ersten Kinder-Umwelt-Survey in Anbindung an den Kinder- und Jugendgesundheitssurvey des Robert Koch-Institutes durch.

Das zweite Programm ist das der Humanprobenbank, die Teil der Umweltprobenbank des Bundes (UPB) ist. Die UPB archiviert tiefgekühlt Umwelt- und Humanproben, die vor ihrer Einlagerung auf umweltrelevante anorganische und organische Stoffe analysiert werden. Damit werden zum einen zeitliche Veränderungen erfasst und zum anderen rückwirkend Stoffe oder deren Folgeprodukte ermittelt, die zum Zeitpunkt ihrer Einwirkung noch nicht bekannt oder analysierbar waren.

Das Programm der Bank für Humanproben sieht u. a. vor, Studentenkollektive der Universitäten Münster (seit 1984), Halle/Saale (seit 1995), Greifswald (seit 1996) und Ulm (seit 1997) mit der Randbedingung „ohne erkennbare spezifische Schadstoffexposition“ auf Schadstoffe in Vollblut, Blutplasma und 24-Stunden-Sammelurin zu untersuchen. Je Universität werden jährlich 100 bis 150 Probanden (zu etwa 90 % aus der Altersgruppe der 20- bis 29-Jährigen, Zahl der Frauen und Männer etwa gleich) ausgewählt. Die Studentenkollektive sind seit Beginn der Untersuchungen nach Umfang, Alter, Wohnlage, Lebensgewohnheit und Gesundheitsstatus in sich und im interkollektiven Zeitvergleich homogen und zeigen keine signifikanten Änderungen der Randbedingungen.

II 1.1 Human-Biomonitoring für Blei

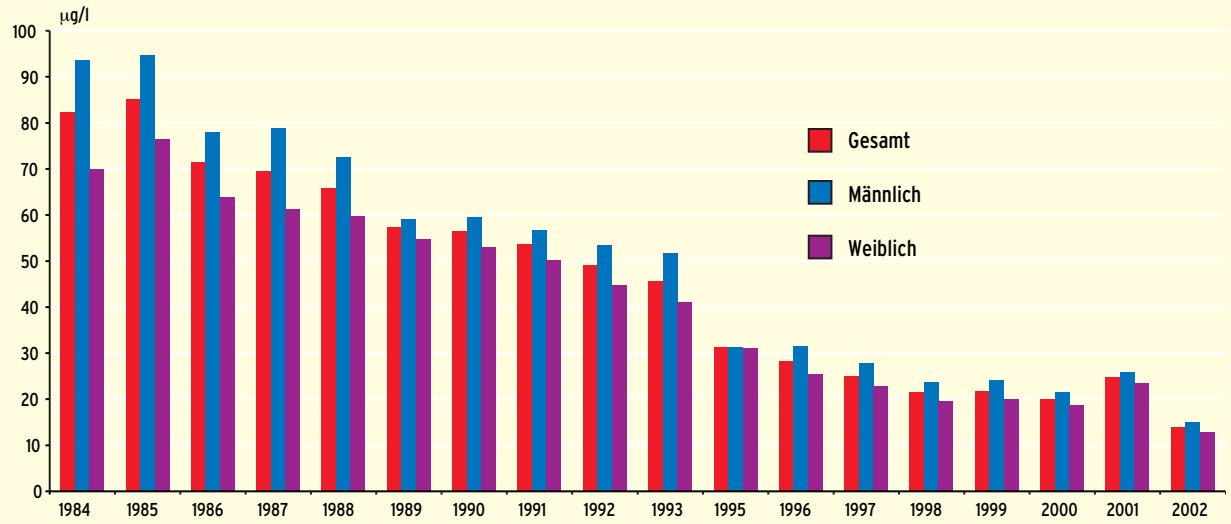
Anhand der Ergebnisse aus der Humanprobenbank lässt sich seit Beginn der kontinuierlichen Untersuchungen im Jahre 1984 eine signifikante Verminderung des Blutbleispiegels, der als ein brauchbarer Indikator für die aktuelle Bleibelastung des Menschen gilt, in den Studentenkollektiven nachweisen. So sank die Bleikonzentration im Vollblut von über 80 µg/l (1984) innerhalb von 18 Jahren auf weniger als ein Viertel (Abb. II 1-1). Dies ist als Beleg für die positive Auswirkung der Senkung der Bleiemissionen aus Kraftfahrzeugen in Folge des Benzinbleigesetzes zu werten.

Bewertung

Die zu beobachtenden geschlechtsspezifischen Unterschiede des Blutbleigehaltes sind mutmaßlich durch unterschiedliche Expositionssituationen und den geringeren Anteil von Erythrozyten (rote Blutkörperchen) im Blut von Frauen bedingt, denn Blei bindet sich im Blut an Erythrozyten.

Aus den Analysen der Zusammenhänge, die mit den Daten aus dem Umwelt-Survey durchgeführt wurden, geht hervor, dass für Blei im Blut der Wein- und Bierkonsum, aber auch das häusliche Trinkwasser bedeutsam sind. Für den Zusammenhang mit dem Wein- und Bierkonsum gibt es bisher noch keine plausible Erklärung (siehe auch Kap. II 2.3 Schwermetalle in Lebensmitteln), während der Zu-

Abb. II 1-1: *Blei im Vollblut von Studenten der Universität Münster* [1)]



[1)] Mittelwerte

Quelle: *Umweltbundesamt 2004*

sammenhang mit dem Blei im Trinkwasser den Einfluss des Installationsmaterials belegt. Mit der seit 2003 geltenden Trinkwasserverordnung wurde u. a. der Grenzwert für Blei ab 1. Dezember 2003 von 40 auf 25 µg/l gesenkt. Ab 1. Dezember 2013 gilt dann der Grenzwert von 10 µg/l. Bleirohre für Trinkwasserleitungen müssen dann endgültig der Vergangenheit angehören.

II 1.2 Human-Biomonitoring für Platin und andere Edelmetalle

Die Bestimmung von Platin wurde erstmals 1998 in das Programm des Umwelt-Surveys aufgenommen, um der Frage nachzugehen, ob die mit der Einführung des Katalysators für Kfz beobachtete Platinbelastung der Umwelt sich auch auf den Menschen auswirkt. Als Indikator für die Verwendung von Platin in Dentallegierungen zur Zahnsanierung wurde auch Gold bestimmt. Untersucht wurde eine Teilstichprobe der erwachsenen Probanden. Die Ergebnisse sind in der Tab. II 1-1 dargestellt [3]. Mit zunehmender Zahl von Inlays, Kronen und Brückengliedern aus Edelmetalllegierungen im Gebiss (Eigenangabe der Studienteilnehmer) nahm am deutlichsten der Platingehalt und etwas geringer der Goldgehalt im Urin zu. Bei Probanden ohne Verwendung platinhaltiger Dentallegierungen lag der geometrische Mittelwert des Platingehaltes im Urin bei 34,2 ng/l, bei solchen mit mehr als 8 sanierten Zähnen stieg dieser Wert auf 71,8 ng/l.

Bewertung

In wie weit den „Zahnmetallen“ eine gesundheitliche Bedeutung zukommt, kann gegenwärtig nicht beurteilt werden. Ein Zusammenhang zwischen Straßenverkehr und Platingehalt im Urin konnte bisher nicht nachgewiesen werden.

Tab. II 1-1: *Edelmetalle im Urin der 18- bis 69-jährigen Bevölkerung 1998*

Edelmetalle	Population	BG	N	P 50	P 95	GM
Gold	D	0,1	1 080	45,5	239	45,5
[ng/l]	AL	0,1	876	46,9	254	47,5
	NL	0,1	204	41,2	174	37,5
Iridium	D	0,1	1 080	0,3	1,1	0,24
[ng/l]	AL	0,1	876	0,3	1,1	0,23
	NL	0,1	204	0,1	1,1	0,28
Platin	D	0,1	1 080	2,1	23,7	2,18
[ng/l]	AL	0,1	876	2,2	25,9	2,38
	NL	0,1	204	1,6	9,3	1,46

Erläuterungen: BG: Bestimmungsgrenze; Werte < BG sind als BG/2 berücksichtigt; N: Stichprobenumfang; P 50, P 95: Perzentile; GM: geometrischer Mittelwert; D: Deutschland; AL: Alte Länder; NL: Neue Länder

Quelle: *Umweltbundesamt 2002*

II 1.3 Human-Biomonitoring für Polyzyklische Kohlenwasserstoffe

Polyzyklische Kohlenwasserstoffe (PAK) entstehen bei unvollständiger Verbrennung (Hausbrand, Kfz, Tabakrauchen, Industrie etc.) und sind weit verbreitet in der Umwelt vorhanden. Für einige PAK wurde im Tierversuch eine krebserzeugende Wirkung nachgewiesen.

Bereits seit 1990/92 werden die PAK-Metabolite 1-Hydroxypyren und drei verschiedene Hydroxyphenanthrene im Urin bestimmt. Die Ergebnisse aus dem Umwelt-Survey 1998 sind in der Tab. II 1-2 zusammengestellt [4]. Untersucht wurde eine Teilstichprobe. Im Vergleich zu 1990/92 zeigte sich 1998 eine deutliche Abnahme der PAK-Belastung, speziell in den neuen Bundesländern, die sich der niedrigeren Belastung in den alten Bundesländern angenähert hat. Raucher von ca. 10 Zigaretten pro Tag wiesen im Vergleich zu Nichtrauchern deutlich höhere Konzentrationen der PAK-Metaboliten auf.

Tab. II 1-2: *PAK-Metabolite im Urin der 18- bis 69-jährigen Bevölkerung 1998*

Metabolite	Population	BG	N	P 50	P 95	GM
1-Hydroxypyren	D	0,012	573	0,14	0,73	0,13
[µg/l]	AL	0,012	465	0,13	0,72	0,12
	NL	0,012	108	0,19	0,81	0,17
2/9-Hydroxyphenanthren	D	0,004	573	0,25	0,85	0,24
[µg/l]	AL	0,004	465	0,24	0,83	0,22
	NL	0,004	108	0,31	0,97	0,3
3-Hydroxyphenanthren	D	0,005	573	0,31	1,14	0,29
[µg/l]	AL	0,005	465	0,30	1,05	0,28
	NL	0,005	108	0,39	1,72	0,38

Erläuterungen: BG: Bestimmungsgrenze; Werte < BG sind als BG/2 berücksichtigt; N: Stichprobenumfang; P 50, P 95: Perzentile; GM: geometrischer Mittelwert; D: Deutschland; AL: Alte Länder; NL: Neue Länder

Quelle: *Umweltbundesamt 2002*

Bewertung

Der 1998 im Vergleich zu 1990/92 zu beobachtende Rückgang der PAK-Belastung ist vermutlich durch die weitere Umstellung auf moderne Heizungssysteme bedingt. Diese Annahme wird indirekt dadurch erhärtet, dass Menschen, die in dezentral beheizten Wohnungen lebten (meist Öfen mit Kohleheizung), höhere Gehalte an PAK-Metaboliten aufwiesen. Bei allem Fortschritt der Emissionsminderungen ist hervorzuheben, dass das Tabakrauchen die wohl vorherrschende Belastungsquelle für PAK ist. Auch bei Passivrauchern wurden Metabolite nachgewiesen. Die in der Literatur mehrfach aufgezeigten Einflüsse des Straßenverkehrs und des Konsums von gegrillten und geräucherten Speisen (beide Male Frageboge-

nangaben) konnten in dieser Studie nicht bestätigt werden. Da die umweltmedizinische Datenlage unzureichend ist, wurden bisher noch keine toxikologisch begründeten HBM-Werte [2] abgeleitet, so dass derzeit die gesundheitliche Bedeutung der gemessenen PAK-Metabolite nicht beurteilt werden kann.

II 1.4 Human-Biomonitoring für Pentachlorphenol und Hexachlorbenzol

Pentachlorphenol (PCP) und Hexachlorbenzol (HCB) sind Biozide, die in der Vergangenheit auch in Deutschland eine breite Anwendung fanden. PCP wurde bis zu seinem Verbot 1989 (PCP-Verbotsverordnung) in Deutschland vorwiegend als Holzschutzmittel und zum Schutz von Textilien und Leder sowie als Konservierungsmittel in der Zellstoff-, Papier- und Pappeproduktion angewendet. HCB ist als Saatbeizmittel im Pflanzenschutz seit 1977 verboten. Weil beide Chlorverbindungen schwer abbaubar sind, werden sie trotz der weit zurückliegenden Verwendung immer noch in der Umwelt nachgewiesen. HCB reichert sich in der Nahrungskette an.

Die Untersuchungen auf PCP und HCB wurden 1985 in das Programm der Humanprobenbank aufgenommen. Bis 2002 verringerte sich die PCP-Konzentration im Blutplasma der Probanden deutlich von 31 µg/l auf 2 µg/l (Abb. II 1-2). Derselbe Trend zeichnet sich auch bei den Werten im Urin ab.

Auch bei HCB ist eine deutliche Abnahme der Konzentrationen im Blutplasma zu verzeichnen. Über einen Zeitraum von 17 Jahren sank der mittlere HCB-Gehalt von anfangs 3,1 µg/l auf 0,18 µg/l im Jahr 2002 (Abb. II 1-3). HCB zeigt – im Gegensatz zu PCP – eine ausgesprochene Geschlechtsabhängigkeit, für die es noch keine Erklärung gibt.

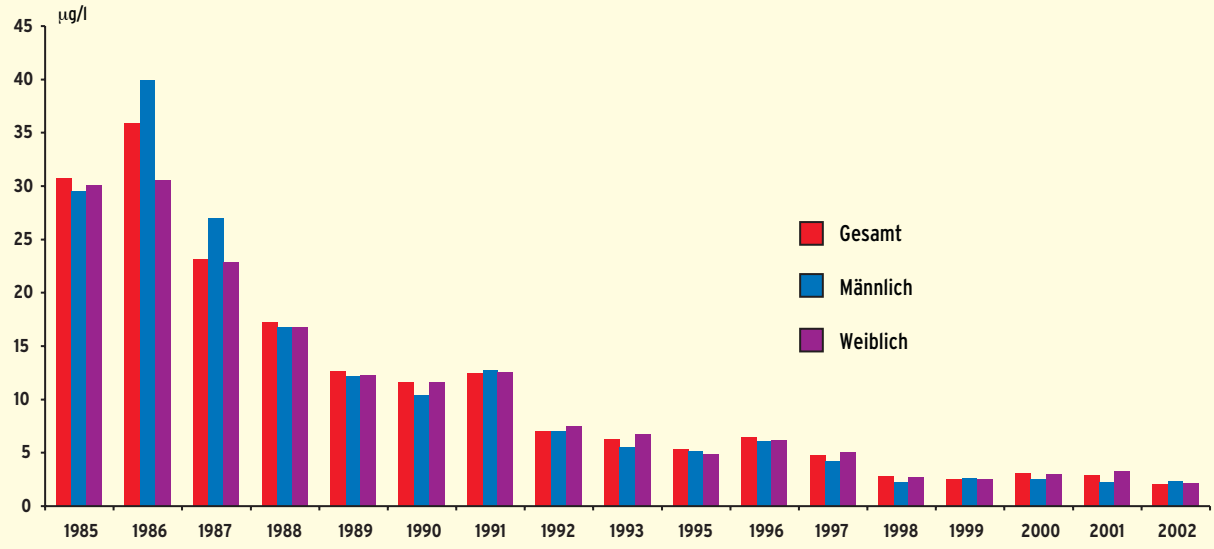
Bewertung

Die Ergebnisse aus dem Umwelt-Survey 1990/92 und 1998 bestätigen die rückläufige Entwicklung des PCP-Gehaltes, der im Urin (2,7 µg/l versus 1,0 µg/l) und auch im Hausstaub (0,33 mg/kg versus 0,25 mg/kg) bestimmt wurde, und damit die Wirksamkeit der PCP-Verbotsverordnung. Höhere PCP-Gehalte im Urin oder im Hausstaub wurden nachgewiesen bei Menschen, die angaben, dass in der Vergangenheit Holzschutzmittel in der Wohnung angewendet wurden. PCP gast aus dem behandelten Holz noch lange Zeit nach der Imprägnierung aus, obwohl in abnehmendem Maße [5]. Unabhängig davon wird vermutlich auch weiterhin eine gewisse PCP-Exposition über den Wiedereinsatz von imprägnierten „Althölzern“ und Importe von imprägnierten Hölzern, Lederwaren und Textilien aus Ländern, die keine oder andere gesetzliche PCP-Regelungen haben, bestehen.

II 1.5 Human-Biomonitoring für DEHP (Weichmacher)

Di-(2-Ethyl-Hexyl)-Phthalat (DEHP) findet eine breite Anwendung als Weichmacher für PVC und als Lösemittel. Es ist daher in einer Reihe verbrauchernaher Produkte, wie in Fußbodenbelägen, Wandverkleidungen, Kabeln, Kinderspielzeug und anderen Bedarfsgegenständen für Kinder, sowie in medizini-

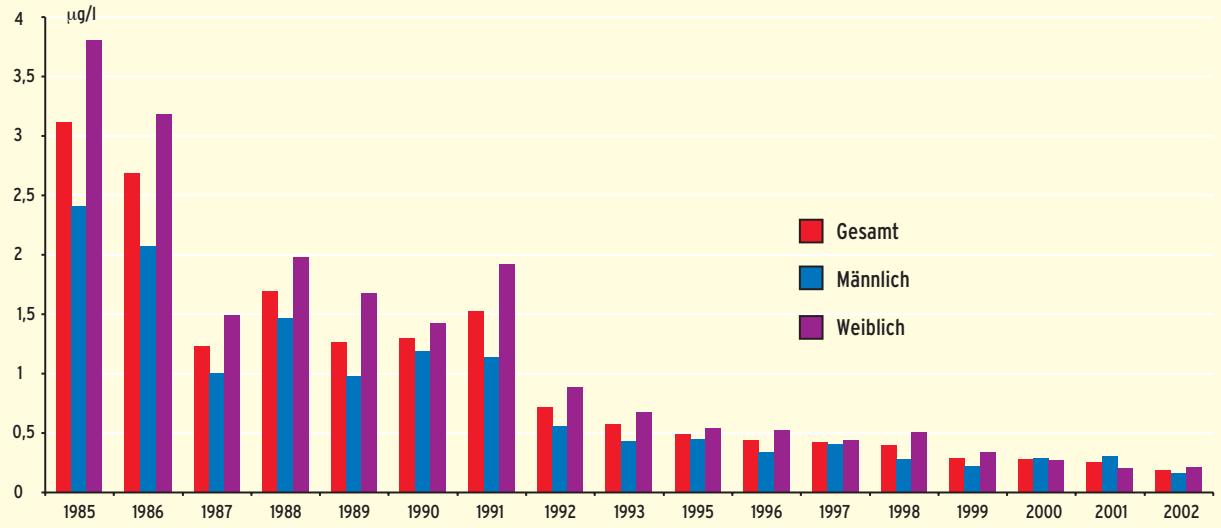
Abb. II 1-2: *Pentachlorphenol im Blutplasma von Studenten der Universität Münster* [1)]



[1)] Mittelwerte

Quelle: *Umweltbundesamt 2004*

Abb. II 1-3: *Hexachlorbenzol im Blutplasma von Studenten der Universität Münster* [1)]



[1)] Mittelwerte

Quelle: *Umweltbundesamt 2004*

schen Gerätschaften und Verpackungsmaterialien für Lebensmittel enthalten.

Bestimmte Phthalate haben hormonähnliche Eigenschaften und gehören zu den endokrinen Disruptoren. Vor allem DEHP steht in der Diskussion, nachteilig auf die Gesundheit des Menschen zu wirken. Das Untersuchungsprogramm der Pilotstudie zum Kinder-Umwelt-Survey enthielt daher auch die Metabolite von DEHP. Im Zeitraum 2001/2002 wurden Urinproben von 3- bis 14-jährigen Kindern auf diese Metabolite untersucht. Ein Fragebogen erfasste Angaben zu expositionsrelevanten Verhaltensweisen und Bedingungen im Haushalt, im näheren Wohnumfeld und am Wohnort. Die Pilotstudie diente vorrangig der Methodenprüfung für den Kinder-Umwelt-Survey. Die Ergebnisse sind daher erste Hinweise, die der weiteren Klärung durch zusätzliche Studien bedürfen. Die Ergebnisse sind in der Tabelle II 1-3 enthalten [6]. Auch im Hausstaub (Staubsaugerbeutelinhalt) wurde DEHP bestimmt. Die DEHP-Konzentrationen waren zum Teil recht hoch. Der geometrische Mittelwert lag bei 508 mg/kg Hausstaub.

Bewertung

Es gibt Hinweise, dass – wie auch aus anderen Untersuchungen bekannt – bei älteren Kindern die Konzentration der so genannten sekundären Metaboliten (5-OH-MEHP und 5-Oxo-MEHP) im Urin geringer ist als bei jüngeren Kindern. Dieser Altersgang könnte dadurch bedingt sein, dass sich der Fremdstoffwechsel in der Pubertät umstellt. Auch waren bei Knaben höhere Konzentrationen nachweisbar als bei Mädchen. Für DEHP ließ sich kein Zusammenhang zwischen der Konzentration im Hausstaub und der korporalen Belastung nachweisen. Es ist zu vermuten, dass der Haupteintragspfad die Nahrungsmittel sind. Weitere Untersuchungen werden hierzu durchgeführt.

Tab. II 1-3 *DEHP-Metabolite im Urin von Kindern 2001/2002*

Metabolite	N	P50	P95	Max	GM	KI GM
MEHP [µg/l]	254	7,2	29,7	226	7,9	7,1– 8,8
MEHP [µg/g crea]	254	5,9	23,7	223	6,2	5,6– 6,9
5-OH-MEHP [µg/l]	254	52,1	188	2 590	52,1	47,2– 57,6
5-OH-MEHP [µg/g crea]	254	39,9	170	1 990	40,7	36,8– 45,1
5-Oxo-MEHP [µg/l]	254	41,4	139	1 420	39,9	36– 44,2
5-Oxo-MEHP [µg/g crea]	254	30,5	119	1 090	31,2	28,3–34,5

Erläuterungen: Bestimmungsgrenze: 0,1 µg/l

N: Stichprobenumfang; P 50, P 95: Perzentile; Max: Maximalwert, GM: geometrischer Mittelwert; KI: Konfidenz-Intervall; crea: Creatinin (wird im Urin häufig als Bezugsgröße verwendet, damit die Werte verschiedener Probanden vergleichbar sind, unabhängig davon, ob sie viel oder wenig getrunken haben und der Urin dadurch mehr oder weniger konzentriert ist)

MEHP: Mono(2-Ethylhexyl)-Phthalat; 5-OH-MEHP: 2-Ethyl-5-Hydoxy-Hexylphthalat; 5-Oxo-MEHP: 2-Ethyl-5-Oxo-Hexylphthalat

Quelle: *Umweltbundesamt 2004 a*

II 1.6 Human-Biomonitoring für Organophosphate und Pyrethroide

Organophosphate und Pyrethroide kommen als Biozide zur Bekämpfung von Schadinsekten in der Landwirtschaft, im Gartenbau sowie zum Materialschutz im gewerblichen und häuslichen Bereich zur Anwendung. Die Anwendungen in der Landwirtschaft und im Gartenbau – einschließlich der Anwendungen im Haus- und Kleingarten – unterliegen einer Zulassung. Bei sachgerechter Anwendung ist davon auszugehen, dass dadurch die menschliche Gesundheit und die Umwelt nicht gefährdet werden. Die Anwendungen im nichtlandwirtschaftlichen Bereich unterliegen ebenfalls einem Zulassungsverfahren, das sich jedoch erst im Aufbau befindet. Als Hauptzufuhrpfad hinsichtlich der Belastung der Bevölkerung mit diesen Bioziden gilt allgemein die Nahrung, wobei die Exposition über andere Pfade noch unzureichend geklärt ist und nicht unterschätzt werden sollte.

In der Pilotstudie zum Kinder-Umwelt-Survey wurden 2001/2002 Urinproben von 2- bis 17-jährigen Kindern und Jugendlichen auf Metabolite von Organophosphaten und von Pyrethroiden untersucht. Der Fragebogen erfasste u.a. Angaben zur Anwendung von Bioziden in Haushalten. Die Ergebnisse sind in den Tabellen II 1-4 und II 1-5 dargestellt [7]. Die Pilotstudie diente vorrangig der Methodenprüfung für den Kinder-Umwelt-Survey. Die Ergebnisse sind daher erste Hinweise, die der weiteren Klärung bedürfen.

Bewertung

Die Auswertung der Daten für die Organophosphat-Metabolite ergab, dass die Gehalte im Urin mit dem Lebensalter abnahmen. Die Häufigkeit des Konsums frischer Früchte und Fruchtsäfte, die warme Jahreszeit, eine ländliche Wohngegend und der Aufenthalt in Räumen mit Holzverkleidungen ging mit höheren Metabolit-Konzentrationen im Urin einher. Nach vorsichtiger Schätzung könnte bei einigen Kindern der ADI-(Acceptable Daily Intake)-Wert überschritten sein. Diese Befunde bedürfen allerdings noch der Bestätigung durch die Ergebnisse der derzeit laufenden Hauptphase des Kinder-Umwelt-Surveys.

Bei den Pyrethroiden bestand zwischen den Metaboliten im Urin und dem Pyrethroid-Gehalt des Hausstaubes ein signifikanter Zusammenhang. Das spricht dafür, dass die korporale Pyrethroid-Belastung durch die Anwendung dieser Biozide im Haushalt bedingt ist. Nach vorläufigen Schätzungen lagen alle Probanden weit unter den ADI-Werten für Pyrethroide. Auch dies bedarf der Bestätigung durch den Kinder-Umwelt-Survey.

Tab. II 1-4: *Dialkylphosphate (Metabolite von Organophosphaten) im Urin von Kindern und Jugendlichen 2001/2002*

Metabolite	N	P 50	P 95	Max	GM	KI GM
DMP [µg/l]	363	14	118	660	13,5	11,9–15,3
DMTP [µg/l]	363	8,3	124	505	8,2	7,0–9,7
DMDTP [µg/l]	363	<1	10,8	71,5	<1	
DEP [µg/l]	363	3,8	20	41,7	3,3	2,9–3,8
DETP [µg/l]	363	<1	11	53,4	1,1	1,0–1,3
DEDTP [µg/l]	363	<1	<1	1,61	<1	

Erläuterung: Bestimmungsgrenze: 1 µg/l, außer DMP: 5 µg/l

N: Anzahl der Probanden; P 50, P 95: Perzentile; MAX: Maximalwert, GM: geometrischer Mittelwert; KI: Konfidenz-Intervall; DMP: Dimethylphosphat; DMTP: Dimethylthiophosphat; DMDTP: Dimethyldithiophosphat; DEP: Diethylphosphat; DETP: Diethylthiophosphat; DEDTP: Diethyldithiophosphat

Quelle: *Umweltbundesamt 2004 b*

Tab. II 1-5: *Metabolite von Pyrethroiden im Urin von Kindern und Jugendlichen 2001/2002*

Metabolite	N	P50	P95	MAX	GM	KI GM
3-PBA [µg/l]	396	0,29	2,35	19,2	0,31	0,28– 0,34
cis-DCCA [µg/l]	396	0,11	0,74	13,0	0,12	0,11– 0,13
trans-DCCA [µg/l]	395	0,19	1,73	75,9	0,2	0,18– 0,22
DBCA [µg/l]	396	< 0,1	0,52	20,9	< 0,1	
F-PBA [µg/l]	395	< 0,1	< 0,1	0,12	< 0,1	

Erläuterungen: Bestimmungsgrenze: 0,1 µg/l

N: Anzahl der Probanden; P 50, P 95: Perzentile; Max: Maximalwert, GM: geometrischer Mittelwert; KI: Konfidenz-Intervall

3-PBA: 3-Phenoxybenzoesäure; cis-DCCA: cis-3-(2,2-Dichlorvinyl)-2-2-Dimethyl-Cyclopropan-1-Carboxylsäure; trans-DCCA: trans-3-(2,2-Dichlorvinyl)-2-2-Dimethyl-Cyclopropan-1-Carboxylsäure;

DBCA: 3-(2,2-Dibromvinyl)-2,2-Dimethyl-Cyclopropan-1-Carboxylsäure; F-PBA: 4-Fluor-3-Phenoxybenzoesäure

Quelle: *Umweltbundesamt 2004 b*

II 1.7 Human-Biomonitoring für Polybromierte Flammschutzmittel

Polybromierte Diphenylether (PBDE) werden seit den 70er Jahren als Flammschutzmittel in Polymeren für den Elektronikbereich oder in synthetischen Textilien eingesetzt. Mittlerweile sind Diphenylether mit unterschiedlichem Bromierungsgrad (Kongenere) auch in der Umwelt weit verbreitet. Diese Verbindungen sind fettlöslich, reichern sich in der Nahrungskette an und gelangen so auch in den menschlichen Organismus. Die Bewertung der drei bisher technisch eingesetzten PBDE im EU-Altstoffprogramm hinsichtlich möglicher endokriner (hormonartiger), immun- und reproduktionstoxischer sowie ökotoxischer Wirkungen ergab, dass das Inverkehrbringen und die Verwendung von Penta- und von Octa-BDE in der EU verboten wurde (Richtlinie 2003/11/EG vom 06.02.2003), während für das Deca-BDE noch weiterer Klärungsbedarf besteht.

Aus einer schwedischen Studie geht hervor, dass Muttermilchproben aus dem Zeitraum 1972 bis 1997 mit PBDE zunehmend belastet sind. Alle fünf Jahre verdoppelte sich der PBDE-Gehalt. Daher äußerte sich der Ausschuss für Toxikologie, Ökotoxikologie und Umwelt (CSTEE) der EU zu Recht besorgt über die Exposition der gestillten Säuglinge gegenüber Penta-BDE und wies darauf hin, dass die steigende Belastung der Muttermilch möglicherweise durch eine noch nicht identifizierte Verwendung dieser Stoffgruppe verursacht wird.

Muttermilch ist nicht nur Lebensmittel für den Säugling, sondern zugleich ein guter Bioindikator für die Charakterisierung der internen Belastung der Allgemeinbevölkerung.

In einer im Auftrag des UBA durchgeführten Studie ging das Bundesinstitut für Risikobewertung der Frage nach, ob die Aufnahme über Lebensmittel tierischer Herkunft für die Kongenere 28 (Tri-BDE), 47 und 66 (beide Tetra-BDE), 99 (Penta-BDE), 153 und 154 (beide Hexa-BDE), 183 (Hepta-BDE) und 209 (Deca-BDE) eine Bedeutung besitzt. Dazu wurden im Zeitraum 2001 bis 2003 von 41 Müttern, die sich mit Mischkost, und 32 Müttern, die sich vegetarisch (davon eine Mutter veganisch) ernährten, Milchproben zwei und/oder 12 Wochen nach der Entbindung gewonnen [8]. Insgesamt wurden 108 Muttermilchproben analysiert mit einem mittleren PBDE-Gehalt von 2,11 ng/g Milchfett. Bei den „Mischköstlerinnen“ lag der mittlere PBDE-Gehalt in der Muttermilch bei 2,47 ng/g Milchfett und bei den „Vegetarierinnen“ bei 1,65 ng/g Milchfett (Tab. II 1-6). Beide Studiengruppen unterschieden sich aber nicht in den Kongeneren-Mustern. Den größten Anteil hatte BDE 47, gefolgt von BDE 153, BDE 99 und BDE 100. Nach 10 Wochen Stilldauer konnte kein signifikanter Abfall des PBDE-Gehaltes in der Muttermilch beobachtet werden.

Bewertung

Der in der Studie gemessene mittlere PBDE-Gehalt von 2,1 ng/g Milchfett stimmt gut mit den Ergebnissen in anderen europäischen Ländern überein. Hervorzuheben ist, dass die Werte aus Deutschland erfreulicherweise eher im unteren Bereich angesiedelt sind. Demgegenüber liegen aktuelle Werte aus Kanada mit 22 ng/g Milchfett und den USA mit 74 ng/g Milchfett deutlich höher.

Tab. II 1-6: *Mittlere Konzentrationen der PBDE-Kongenere in Muttermilchproben 2001–2004*

BDE-Kongener	Milchproben von	
	„Mischköstlerinnen“ N = 41 [ng/g Milchfett]“	„Vegetarierinnen“ N = 32 [ng/g Milchfett]“
BDE 28	0,04	0,04
BDE 47	0,95	0,53
BDE 66	0,01	0,01
BDE 99	0,29	0,15
BDE 100	0,23	0,16
BDE 153	0,66	0,52
BDE 154	0,03	0,02
BDE 183	0,09	0,07
BDE 209	0,17	0,16

Erläuterung: „Mischköstlerinnen“ ernähren sich von tierischen und pflanzlichen Lebensmitteln. „Vegetarierinnen“ verzichten vor allem auf den Verzehr von Fleisch und Fisch. Beim Verzehr von durch Tiere produzierte Produkte, wie Eier, Milch, Milchprodukte oder Honig gibt es individuell unterschiedliche Entscheidungen. Veganerinnen lehnen grundsätzlich alle Nahrungsmittel ab, die tierischen Ursprungs sind. Sie verzichten nicht nur auf Fleisch und Fisch, sondern auch auf Eier und Milch.

Quelle: *Bundesinstitut für Risikobewertung 2005*

II 1.8 Human-Biomonitoring für Nikotin und Cotinin

Nikotin und sein Metabolit Cotinin wurden im Umwelt-Survey 1998 im Urin aller Studienteilnehmer bestimmt. Bei Rauchern ergaben sich geometrische Mittelwerte von 365 µg Nikotin/l und von 854 µg Cotinin/l. Bei Nie- und Exrauchern lagen die geometrischen Mittelwerte für Nikotin und Cotinin unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenzen von 2 µg/l oder 4 µg/l [1].

Immerhin sind etwa 20 % der Nichtraucher in Deutschland gegenüber Tabakrauch zu Hause, am Arbeitsplatz und an anderen Orten exponiert [9]. Waren Nichtraucher gegenüber Tabakrauch expo-

niert, wiesen sie im Vergleich zu Nichtrauchern ohne solche Exposition häufiger quantifizierbare Nikotin- und Cotiningehalte im Urin auf: 4- bis 6mal so häufig, falls zu Hause Familienmitglieder rauchten, doppelt so häufig, sofern am Arbeitsplatz geraucht wurde (Tab. II 1-7).

Tab. II 1-7: *Nikotin und Cotinin im Urin der 18- bis 69-jährigen Bevölkerung 1998*

Substanz	Population	BG	N	P 50	P 95	GM
Nikotin	D	2	4 739	<2	2 110	10,5
[µg/l]	R	2	1 609	619	3 420	365
	NR	2	3 129	<2	20	1,7
Cotinin	D	4	4 739	<4	2 790	21,4
[µg/l]	R	4	1 609	1 490	3 710	854
	NR	4	3 129	<4	25	3,2

Erläuterungen: BG: Bestimmungsgrenze; Werte < BG sind als BG/2 berücksichtigt; N: Stichprobenumfang; P 50, P 95: Perzentile; GM: geometrischer Mittelwert

D: Deutschland; R: Raucher; NR: Nichtraucher

Quelle: *Umweltbundesamt 2002*

Bewertung

Nikotin und Cotinin im Urin sind valide Biomarker, die zur Identifizierung einer Tabakrauch-Belastung eingesetzt werden können. Die Zusammenhangsanalyse ergab, dass der Verzehr nikotinhaltiger Nahrungsmittel (z.B. Kartoffeln, Tee, Kohl) keinen nachweisbaren Einfluss auf den Nikotin- oder Cotiningehalt im Urin hat.

Tabakrauch ist gesundheitsschädlich, denn er enthält zahlreiche kanzerogene Verbindungen. Das „Passivrauchen am Arbeitsplatz“ wurde daher von der MAK-Kommission als humankanzerogen (krebserzeugend beim Menschen) eingestuft. Nichtraucher bedürfen eines besonderen Schutzes vor Tabakrauchexpositionen. Im Oktober 2002 wurde durch eine Änderung der Arbeitsstättenverordnung der Nichtraucherschutz am Arbeitsplatz verbessert (§ 3a ArbstättV).

[1] Becker, K., Kaus, S., Krause, C., Lepom, P., Schulz, C., Seiwert, M., Seifert, B.: Umwelt-Survey 1998, Bd. III: Human-Biomonitoring. Stoffgehalte in Blut und Urin der Bevölkerung in Deutschland. WaBoLu-Heft 1/02. Umweltbundesamt, Berlin 2002

[2] Kommission Human-Biomonitoring: Zur umweltmedizinischen Beurteilung von Human-Biomonitoring-Befunden in der ärztlichen Praxis. Umweltmed. Forsch. Prax. 5 (2000) 177-180

[3] Benemann, J., Bromen, K., Lehmann, N., Marr, A., Jöckel, K-H.: Umwelt-Survey 1998. Band VII: Arsen. Schwer- und Edelmetalle in Blut und Urin der Bevölkerung in Deutschland – Belastungsquellen und -pfade. WaBoLu-Heft 03/04, Umweltbundesamt, Berlin 2004

[4] Bernigau, W., Lorber, K. E., Wilken, M., Heidrich, F., Leiske, M.: Umwelt-Survey 1998. Band VIII: PAK-Metabolite im Urin der Bevölkerung in Deutschland – Belastungsquellen und -pfade. WaBoLu-Heft 04/04. Umweltbundesamt, Berlin 2004

[5] Aktualisierung des Referenzwertes für Penta-chlorphenol im Morgenurin - Stellungnahme der Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Bundesgesundheitsbl. - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 47, 5, 499-502, 2004

[6] Becker, K., Seiwert, M., Angerer, J., Heger, W., Koch, H.M., Nagorka, R., Roßkamp, E., Schlüter, C., Seifert, B., Ullrich, D.: DEHP metabolites in urine of children and DEHP in house dust. Int. J. Hyg. Environ. Health 207 (2004) 409-417

[7] Becker, K., Seiwert, M., Angerer, J., Hoppe, H.-W., Schulz, C., Seifert, B.: GerES IV Pilotstudy: Assessment of the exposure of German children to organophosphate and pyrethroid insecticides: Posterpräsentation: International Society of Exposure Analysis, 14th Conference in Philadelphia/
Pennsylvania, USA, 17.-21.10.2004

[8] Vieth, B., Rüdiger, T., Ostermann, B., Mielke, H.: Rückstände von Flammschutzmitteln in Frauenmilch aus Deutschland unter besonderer Berücksichtigung von polybromierten Diphenylethern. Abschlussbericht des Forschungsprojektes im Auftrag des UBA (Förderkennzeichen 202 61 218/03). Berlin, Mai 2005

[9] Heinrich, J.: Umwelt-Survey 1998. Band VI: Nikotin und Cotinin im Urin der Bevölkerung in Deutschland – Belastungsquellen und -pfade. WaBoLu-Heft 03/03, Umweltbundesamt, Berlin 2003

II 2 Belastung von Lebensmitteln mit unerwünschten Stoffen

Lebensmittel im Sinne des Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetzes (LMBG) sind Stoffe, die in unverändertem, zubereitetem oder verarbeitetem Zustand vom Menschen gegessen oder getrunken werden, soweit sie nicht den Charakter von Arzneimitteln haben. Zu den Lebensmitteln zählen daher Nahrungsmittel (auch diätetische Produkte) und Genussmittel, wie Tee, Kaffee, alkoholische Getränke, und Trinkwasser, dessen Qualität nach der Trinkwasserverordnung überwacht wird.

Von Bund und Ländern wird - ergänzend zur gesetzlichen Lebensmittelüberwachung - jährlich auf der Basis des Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetzes (LMBG) ein Lebensmittel-Monitoring durchgeführt. Ziel ist es, aussagekräftige repräsentative Daten zum Vorkommen unerwünschter Stoffe (Kontaminanten, Rückstände) in den in Deutschland angebotenen Lebensmitteln zu erhalten und eventuelle Potenziale einer langfristigen Gefährdung durch diese Stoffe frühzeitig zu erkennen. Probenahme und Untersuchung der Lebensmittel erfolgen in der Verantwortung der amtlichen Lebensmittelüberwachung der Länder. Die Organisation des Monitoring, die Erfassung der Daten, die Datenhaltung und die Auswertung der Monitoring-Ergebnisse sowie die Berichterstattung obliegen dem Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL).

Jährlich werden etwa 4 700 Monitoringproben gezogen, die sich auf etwa 20 unterschiedliche Lebensmittel verteilen. Untersucht wird auf Rückstände von Pflanzenschutzmitteln, bestimmte aus der Umwelt oder im Zuge der Gewinnung, Be- und Verarbeitung ungewollt in pflanzliche oder tierische Lebensmittel gelangende persistente chlorierte Kohlenwasserstoffe, Schwermetalle, Nitrat sowie einige Mykotoxine. Trendaussagen sind auf der Grundlage dieser Daten nur eingeschränkt möglich, da das Spektrum der untersuchten gesundheitlich unerwünschten Stoffe jährlich variieren kann. Die Bestimmung der Dioxine in Lebensmitteln erfolgt in speziellen Dioxin-Messprogrammen der Länder.

Höchstgehalte (auch Höchstmengen genannt) sind auf EU-Ebene für Rückstände von Pflanzenschutzmitteln und für Verunreinigungen durch Blei, Cadmium, Quecksilber und Dioxine sowie für Nitrat, anorganisches Zinn, PAK und für Mykotoxine jeweils in bestimmten Lebensmitteln rechtlich verbindlich festgelegt. Sie werden nach toxikologischen Gesichtspunkten und nach dem „ALARA"-Prinzip ("as low as reasonably achievable", so niedrig wie vernünftigerweise zu erreichen) so festgesetzt, dass sie gesundheitlich vertretbar sind. Ergänzt werden die EU-Regelungen durch nationale Höchstmengen für polychlorierte Biphenyle (PCB) in Lebensmitteln tierischer Herkunft in der Schadstoff-Höchstmengenverordnung.

II 2.1 Pflanzenschutzmittel und weitere persistente organische Verbindungen in Lebensmitteln

Pflanzenschutzmittel

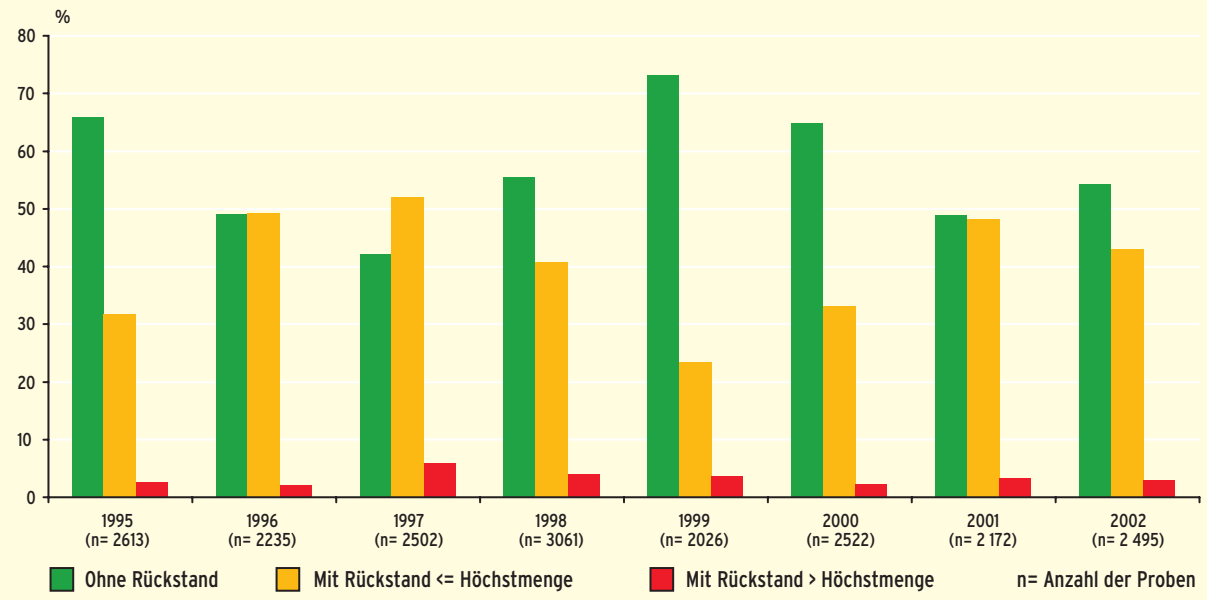
Pflanzenschutzmittel schützen Kulturpflanzen vor Schädlingen und Krankheiten während der Wachstumsperiode, sichern hohe Erträge und bewahren die Erntegüter bei Lagerung und Transport vom Erzeuger bis hin zum Verbraucher vor Verderb. Sie werden gezielt im Gartenbau und in der Landwirtschaft eingesetzt und dürfen in Deutschland nur dann ausgebracht werden, falls sie zugelassen sind. Für die Zulassung eines Pflanzenschutzmittels müssen strenge Kriterien erfüllt werden. Bei bestimmungsgemäßer Anwendung zugelassener Pflanzenschutzmittel sind die Rückstandsmengen gering, und es sind keine nachteiligen Wirkungen auf Gesundheit und Umwelt zu befürchten.

Beim Lebensmittel-Monitoring werden die aus einem festgelegten Warenkorb ausgewählten Lebensmittel auf Rückstände von Pflanzenschutzmitteln untersucht, deren Vorkommen wegen des Anwendungsmusters der Pflanzenschutzmittel oder früherer Befunde nicht auszuschließen ist. Die Ergebnisse sind in Abbildung II 2.1-1 wiedergegeben.

Bewertung

Die meisten Lebensmittelproben waren nicht oder nur gering mit Rückständen von Pflanzenschutzmitteln kontaminiert. Die zulässigen Höchstmengen der Rückstands-Höchstmengenverordnung wurden

Abb. II 2.1-1: *Pflanzenschutzmittelrückstände in Lebensmitteln pflanzlicher Herkunft*



Quelle: *Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit 2004*

nur in einem geringen Anteil der Proben überschritten. Eine Ausnahme stellte das Jahr 1997 mit einer Überschreitung von Höchstmengen in 5,9 % der Proben dar.

Persistente chlorierte Kohlenwasserstoffe, Bromocyclen, Moschusverbindungen

Persistente chlorierte Kohlenwasserstoffe (auch als CKW oder als Organochlorverbindungen bezeichnet) stellen eine Stoffklasse mit zahlreichen verschiedenen Substanzen dar, deren bekannteste Vertreter DDT (Dichlordiphenyltrichlorethan), PCB (Polychlorierte Biphenyle), HCB (Hexachlorbenzol) und HCH (Hexachlorcyclohexan) sind. Sie gehören zu den Stoffen, deren Anwendung in Deutschland verboten oder eingeschränkt ist.

Durch die intensive Verwendung in der Vergangenheit sind diese CKW in der Umwelt verbreitet. In Lebensmittel können sie als Kontaminanten aus der Umwelt gelangen. Aber auch importierte Futtermittel aus Ländern, in denen diese Stoffe noch zugelassen sind, sind eine mögliche Kontaminationsquelle.

Moschusverbindungen, u.a. verwendet als Duftstoffe in Kosmetika sowie in Wasch- und Reinigungsmitteln, und Bromocyclen, ein Tierarzneimittel, wurden 1990 zufällig in Forellen nachgewiesen. Sie wurden in das Programm des Lebensmittel-Monitoring aufgenommen, auch wenn ihre gesundheitliche Auswirkung derzeit noch unklar ist.

Über die Nahrungskette reichern sich die Organochlorverbindungen wegen ihrer guten Fettlöslichkeit vorwiegend im Fettgewebe der Tiere an. Das gilt auch für Moschusverbindungen und Bromocyclen. Lebensmittel tierischer Herkunft sind daher Hauptträger dieser Kontaminanten.

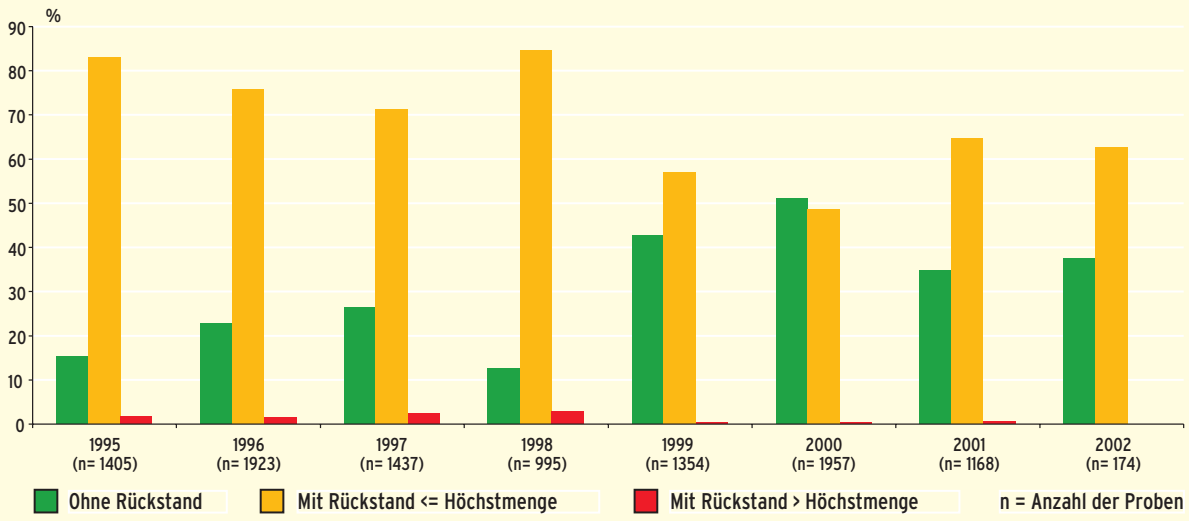
Die Ergebnisse des Lebensmittel-Monitoring sind in Abb. II 2.1-2 dargestellt.

Bewertung

Erfreulich ist, dass das Vorkommen dieser Kontaminanten in Lebensmitteln rückläufig und die Belastung, von wenigen Ausnahmen abgesehen, gering ist. Dies ist eine Folge des seit Jahren in Deutschland bestehenden Anwendungsverbots einiger persistenter organischer Stoffe oder, wie im Falle der Moschusverbindungen, von Anwendungsbeschränkungen.

Ein weiterer Rückgang ist zu erwarten, denn das Stockholmer Übereinkommen, das am 17.05.2004 in Kraft getreten ist, legt völkerrechtlich verbindliche Verbotsregelungen für so genannte POPs (englisch: Persistent Organic Pollutants; persistente organische Schadstoffe) fest, um die Gesundheit des Menschen und die Umwelt weltweit vor diesen gefährlichen Stoffen zu schützen. Das wird langfristig auch dazu führen, dass der Ferntransport über den Luft- und Wasserweg nach Deutschland minimiert wird. Derzeit werden durch das Übereinkommen folgende 12 Substanzen/Substanzgruppen behandelt: Aldrin, Dieldrin, Endrin, Chlordan, Heptachlor, Hexachlorbenzol (HCB), Mirex, Toxaphen, polychlorierte Biphenyle (PCB), DDT, Dioxine (PCDD) und Furane (PCDF). Gemäß Übereinkommen können weitere Substanzen mit so genannten „POP-Eigenschaften“ ergänzt werden.

Abb. II 2.1-2: *Persistente chlorierte Kohlenwasserstoffe, Bromocyclen und Moschusverbindungen in Lebensmitteln tierischer Herkunft*



Quelle: *Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit 2004*

Dioxine und Furane

Die Stoffgruppen der polychlorierten Dibenzodioxine (PCDD) und polychlorierten Dibenzofurane (PCDF) - die Einzelstoffe dieser Gruppen werden als „Kongenere“ bezeichnet - werden nicht gezielt hergestellt, sondern entstehen bei Verbrennungs- sowie vielen chemischen industriellen Prozessen als unerwünschte Nebenprodukte. Über Abgase, Abwasser oder Abfälle können sie in die Umwelt gelangen. Wegen ihrer Fettlöslichkeit reichern sie sich in der Nahrungskette an und sind im tierischen Fett nachweisbar.

Die Abb. II 2.1-3 gibt einen Überblick über die durchschnittlichen Dioxin-/Furan-Gehalte in Lebensmitteln in Deutschland von 2000 bis 2003 im Vergleich zu den von der EG festgelegten Höchstgehalten (Verordnung (EG) Nr. 2375/2001 geändert durch Verordnung (EG) Nr. 684/2004). Überschreitungen der Höchstgehalte wurden nicht beobachtet.

Bewertung

Das Dioxin-Kongener mit der größten toxischen Wirkung ist 2,3,7,8-TCDD (Tetrachlor-dibenzo-p-dioxin), auch als so genanntes „Sevesogift“ bekannt. Die von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) festgelegten Toxizitätsäquivalente (TEQ) setzen die Giftigkeit anderer Dioxin-Kongenere in Beziehung zu der Giftigkeit von 2,3,7,8-TCDD.

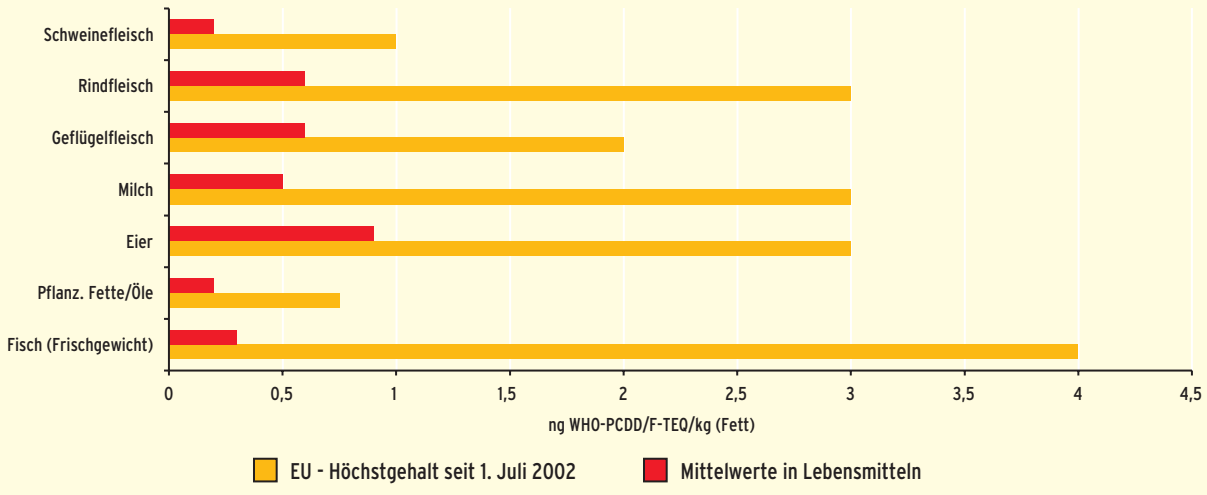
Für die tolerierbare tägliche Aufnahme von PCDD/PCDF einschließlich dioxinähnlicher PCB hat 1998 eine von der WHO einberufene Expertengruppe einen Bereich von 1 bis 4 pg WHO-TEQ/kg Körpergewicht abgeleitet. Die Experten haben gleichzeitig die Empfehlung abgegeben, alle Anstrengungen zu unternehmen, um die tägliche Aufnahme dieser Stoffe auf unter 1 pg WHO-TEQ/kg Körpergewicht zu senken. Im Mai 2001 hat der „Wissenschaftliche Ausschuss „Lebensmittel“ (SCF; Scientific Committee on Food) der Europäischen Kommission eine tolerierbare tägliche Aufnahme von 2 pg WHO-TEQ/kg Körpergewicht festgelegt.

Die korporale Belastung des Menschen mit Dioxinen/Furanen resultiert zu ca. 95 % aus der Nahrung, besonders aus Lebensmitteln tierischer Herkunft. Die Aufnahme erfolgt in Deutschland hauptsächlich über Milch und Milchprodukte mit ca. 40 % sowie über Fleisch und Fleischprodukte mit ca. 20 %. Weiterhin tragen Fisch und Eier mit 17 % und 8 % zur Dioxinaufnahme bei. Die Dioxinaufnahme z.B. durch Fischkonsum ist deshalb geringer, weil in Deutschland weniger Fisch als Fleisch gegessen wird.

Anhand der Dioxin-Gehalte in Lebensmitteln in den Jahren 2000 bis 2003 wird für einen Erwachsenen in Deutschland eine tägliche Aufnahme von ca. 0,72 pg WHO-PCDD/F-TEQ/kg Körpergewicht berechnet. Im Vergleich zu 1987 bis 1990 ist das ein Rückgang um 30 bis 40 %. Werden zusätzlich die dioxinähnlichen PCB berücksichtigt, so liegt die durchschnittliche tägliche Aufnahme bei 2 pg WHO-TEQ/kg Körpergewicht. Kinder sind allerdings noch höher belastet, da sie im Verhältnis zu ihrem Körpergewicht mehr Lebensmittel verzehren. Säuglinge, die gestillt werden, nehmen über die Muttermilch mehr als die 50fache Menge an Dioxinen als Erwachsene über Lebensmittel auf. Eine Reduzierung der Belastung bei Säuglingen und beim ungeborenen Leben über die Plazenta kann nur durch eine Reduzierung der Belastung der Mutter erreicht werden.

Daher sind nach wie vor Anstrengungen auf dem Gebiet der Chemikalien- und Anlagensicherheit so-

Abb. II 2.1-3: *Mittlere Dioxin-/Furan-Konzentrationen in Lebensmitteln von 2000 bis 2003*



Quelle: *Bundesinstitut für Risikobewertung 2003*

wie Überwachung von Futter- und Lebensmitteln notwendig, um Mensch und Umwelt vor Dioxinen zu schützen.

II 2.2 Nitrat in pflanzlichen Lebensmitteln

Nitrat – ein Pflanzennährstoff – kommt als natürlicher Bestandteil, aber auch als Rückstand aus der Düngung in sehr unterschiedlichen Konzentrationen in pflanzlichen Lebensmitteln vor. Unter den Gemüsepflanzen gibt es ausgesprochene „Nitratspeicherpflanzen“ und solche, die bei gleichem Nitratangebot im Boden wesentlich weniger Nitrat speichern.

In einigen Proben von Kopfsalat, der bekanntermaßen zu den nitratreichen Lebensmitteln pflanzlichen Ursprungs zählt, lag die Nitratkonzentration über dem Höchstgehalt (Tab. II 2.2-1).

Bewertung

Zur Begrenzung der Nitratgehalte der so genannten „Nitratspeicherpflanzen“ sind Regelungen eingeführt worden. Für Spinat und Salat gelten in der Europäischen Gemeinschaft Nitrat-Höchstgehalte. Bei der Festlegung der Höchstgehalte wurden auch klimatische Bedingungen und vor allem Produktionsverfahren wie Anbau unter Glas oder im Freiland berücksichtigt, die den Nitratgehalt des Gemüses beeinflussen. So können besonders Unter-Glas-Kulturen in den lichtärmeren Wintermonaten hohe Nitratgehalte aufweisen.

II 2.3 Schwermetalle in Lebensmitteln

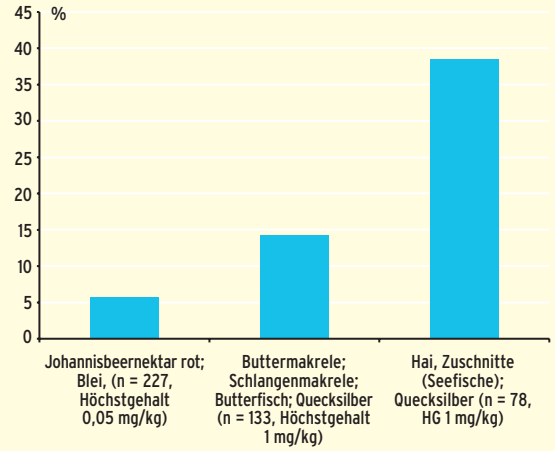
Schwermetalle können aus der Umwelt in Lebensmittel gelangen. Das Vorkommen von Blei, Cadmium und Quecksilber wird in Lebensmitteln durch Höchstgehalte gemäß Verordnung (EG) Nr. 466/2001 begrenzt. Messungen zur Ermittlung der Blei-, Cadmium- und Quecksilbergehalte in den Jahren 2001 und 2002 ergaben, dass der Anteil der Proben mit Überschreitungen der zulässigen Werte für die oben genannten Schwermetalle gering ist (Tab. II 2.3-1, Tab. II 2.3-2 und Tab. II 2.3-3).

Bewertung

Abgesehen von den Ausnahmen, die in der Abb. II 2.3-1 ausgewiesen sind, haben sich keine besonderen Auffälligkeiten ergeben.

Die hohen Überschreitungsquoten der Höchstgehalte für Quecksilber bei den in den Tabellen genannten Fischarten sind dadurch zu erklären, dass Quecksilber im aquatischen Bereich von Mikroorganismen in das fettlösliche Methylquecksilber umgewandelt wird. Methylquecksilber reichert sich besonders in fettreichen und älteren Raubfischen an, die am Ende der Nahrungskette stehen.

Abb. II 2.3-1: *Überschreitung der Höchstgehalte für Schwermetalle in Lebensmitteln in mehr als 5 % der Proben, Untersuchungszeitraum 2001 und 2002*



Quelle: *Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit 2004*

Tab. II 2.2-1: *Nitrat in Lebensmitteln 2001 und 2002*

Lebensmittel	Anzahl der Proben	Nitratgehalte (mg/kg) Median	90. Perzentil	Maximum
Kopfsalat	100	2 166	3 875	4 973
Porree	238	307	745	3 585
Tomaten	275	10	64	268
Äpfel	100	10	10	20
Spinat	99	951	1 953	3 745
Bohnen grüne	135	288	602	1 640
Mohrrüben	82	118	352	714
Möhren/Karottensaft	221	101	219	377
Fertigmenü (ohne tierische Erzeugnisse) für Säuglinge	65	46	132	210
Fertigmenü (mit Rindfleisch) für Säuglinge	62	34	89	122
Fertigmenü (mit Geflügel) für Säuglinge	61	28	95	123
Fertigmenü (mit Kalbfleisch) für Säuglinge	51	39	111	144

Quelle: *Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit 2004*

Tab. II 2.3-1: *Blei in Lebensmitteln 2001 und 2002*

Lebensmittel und Lebensmittelgruppen	Anzahl der Proben	Proben mit Bleigehalten > Höchstgehalt/Richtwert	
		Anzahl	%
Leber, Kalb (auch tiefgefroren)	198	1	0,5
Niere, Kalb (auch tiefgefroren)	226	5	2,2
Niere, Rind (auch tiefgefroren)	290	3	1
Fleischteilstücke, Rind (auch tiefgefroren)	289	3	1
Fleischteilstücke, Strauß (auch tiefgefroren)	75	1	1,3
Säuglings- und Kleinkindernahrung mit Maisanteil	238	3	1,3
Rotbarsch-Filet (Seefisch)	237	1	0,4
Kartoffeln	108	1	0,9
Bohnen, grün	160	1	0,6
Mohrrüben	90	2	2,2
Traubensaft, rot	226	10	4,4
Johannisbeernektar, rot	227	13	5,7

Erläuterung: Für die Beurteilung wurde für 2001 der vom ehemaligen Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin abgeleitete Richtwert herangezogen; für 2002 der gesetzlich festgelegte Höchstgehalt. Dargestellt werden nur Lebensmittel, die Überschreitungen des Höchstgehalts/Richtwerts aufweisen.

Quelle*: Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit 2004*

Tab. II 2.3-2: *Cadmium in Lebensmitteln 2001 und 2002*

Lebensmittel und Lebensmittelgruppen	Anzahl der Proben	Proben mit Cadmiumgehalten > Höchstgehalt/Richtwert	
		Anzahl	%
Niere, Kalb (auch tiefgefroren	226	5	2,2
Niere, Rind (auch tiefgefroren)	290	11	3,8
Niere, Schwein (auch tiefgefroren)	298	7	2,3
Fleischteilstücke, Strauß (auch tiefgefroren)	75	1	1,3
Haie, Zuschnitte (Seefisch)	78	2	2,6
Spinat	104	4	3,8
Mohrrüben	90	2	2,2
Kopfsalat	101	2	2,0
Porree	256	4	1,6
Rotwein	236	1	0,4
Schokolade	286	8	2,8

Erläuterung: Für die Beurteilung wurde für das Jahr 2001 der vom ehemaligen Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin abgeleitete Richtwert herangezogen, für das Jahr 2002 der rechtlich verbindliche EU-Höchstgehalt. Dargestellt werden nur Lebensmittel, die Überschreitungen des Höchstgehalts/Richtwerts aufweisen.

Quelle: *Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit 2004*

Tab. II 2.3-3: *Quecksilber in Lebensmitteln 2001 und 2002*

Lebensmittel und Lebensmittelgruppen	Anzahl der Proben	Proben mit Quecksilbergehalten > Richtwert/Höchstgehalt	
		Anzahl	%
Leber, Kalb (auch tiefgefroren)	198	2	1,0
Niere, Schwein (auch tiefgefroren)	293	5	1,7
Buttermakrelen, Schlangenmakrelen, Butterfische (Seefisch)	133	19	14,3
Schollen (Seefisch)	286	1	0,3
Haie, Zuschnitte (Seefisch)	78	30	38,5

Erläuterung: Für die Beurteilung wurde für das Jahr 2001 der vom ehemaligen Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin abgeleitete Richtwert herangezogen, für das Jahr 2002 der rechtlich verbindliche EU-Höchstgehalt. Dargestellt werden nur Lebensmittel, die Überschreitungen des Höchstgehalts/Richtwerts aufweisen.

Quelle: *Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit 2004*

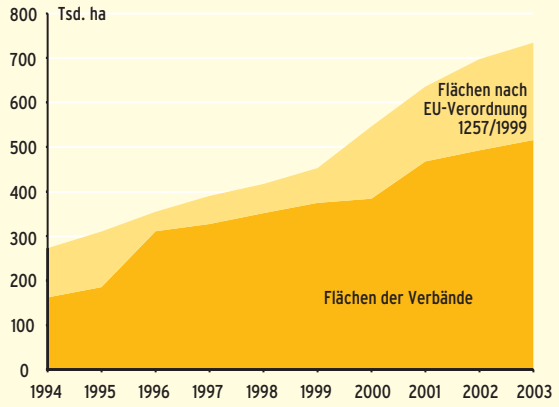
II 2.4 Ökologisch erzeugte Lebensmittel

Eine Maßnahme zur Verringerung der Umweltbelastung durch Einträge aus der Landwirtschaft ist die Förderung des ökologischen Landbaus. Zur Verbesserung der Rahmenbedingungen für den ökologischen Landbau hat die Bundesregierung Ende 2001 ein Programm zur Förderung des ökologischen Landbaus aufgelegt, das u. a. eine stärkere Unterstützung der Vermarktung ökologisch erzeugter Produkte umfasst. Zur besseren Kennzeichnung ökolo-

gisch erzeugter Produkte steht mit dem Biosiegel seit 2001 ein bundesweit einheitliches Öko-Label zur Verfügung. Der Marktanteil biologisch erzeugter Lebensmittel betrug in Deutschland im Jahr 2002 2,3 % (= 3 Mrd. EUR) [1].

In Deutschland wird die Umstellung und Beibehaltung des ökologischen Landbaus als ein Bestandteil der Agrarumweltprogramme nach der Verordnung (EWG) Nr. 1257/1999 über die Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums (geändert durch Verordnung 1783/2003) unterstützt. Der Bund beteiligt sich über die Bund-Länder „Gemeinschaftsaufgabe zur Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes" (GAK) an der Förderung des ökologischen Landbaus. Die Finanzierung der Förderprogramme teilen sich die Europäische Union, der Bund und die Länder.

Abb. II 2.4-1: *Gesamtfläche des ökologischen Landbaus in Deutschland*



Quelle: *Stiftung Ökologie & Landbau; Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft 2004*

Umweltgerecht wirtschaftende Betriebe nach der EG-Öko-Verordnung

Die gesetzliche Grundlage für den Ökologischen Landbau ist die EU-Verordnung 2092/91/EWG vom 24. Juni 1991 über den ökologischen Landbau und die entsprechende Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Lebensmittel. Ergänzt wird diese Verordnung durch die Verordnung 1804/99/EG des Rates vom 19. Juli 1999 zur Einbeziehung der tierischen Erzeugung.

Ende 2003 bewirtschafteten in Deutschland 16 476 Betriebe eine landwirtschaftliche Nutzfläche von 734 027 ha nach den EU-Regelungen des ökologischen Landbaus (Tab. II 2.4-1 und Abb. II 2.4-1). Damit erhöhte sich, bezogen auf das Vorjahr, die Zahl der Öko-Betriebe um 5,3 % und die bewirtschaftete Fläche um 5,4 %.

Im europäischen Vergleich liegt Deutschland beim Ökolandbau (bezogen auf den Flächenanteil) über dem Durchschnitt der EU, allerdings nur auf einem mittleren Platz, hinter Ländern wie Italien, Österreich, Schweiz, Liechtenstein, Schweden, Dänemark oder Finnland (Abb. II 2.4-2).

Umweltgerecht wirtschaftende Betriebe nach den Richtlinien der Verbände

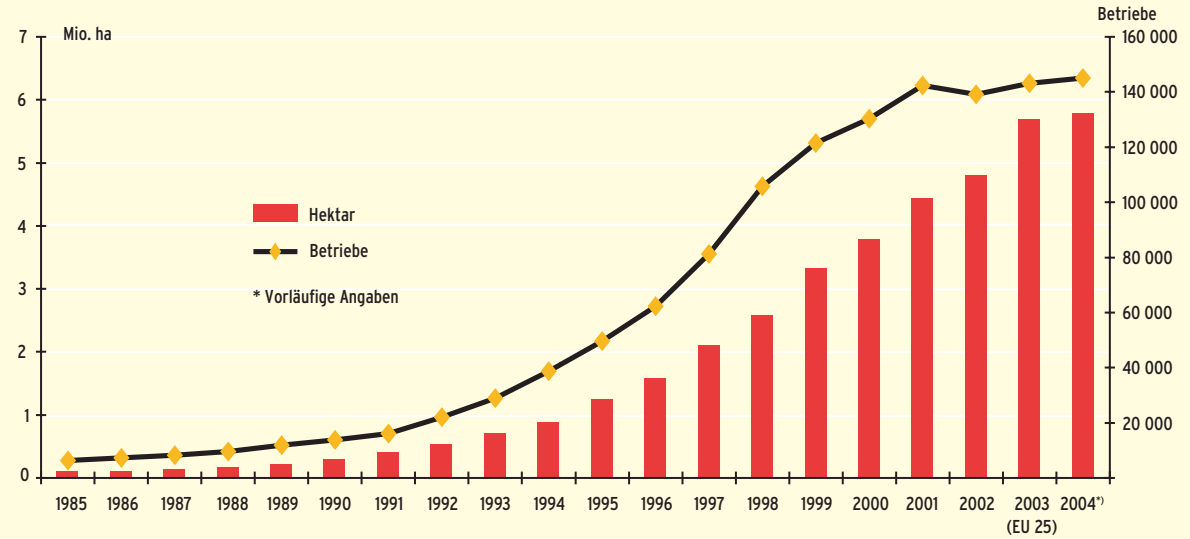
Die Anbauverbände waren ursprünglich in der Arbeitsgemeinschaft für Ökologischen Landbau (AGÖL) organisiert, seit 2002 gehören die meisten von ih-

Tab. II 2.4-1: *Entwicklung der Anbaufläche des ökologischen Landbaus in ha (Stand: 1.1.2003)*

Verbände	1989	1991	1993	1995	1997	1999	2001	2003
Demeter	17 146	23 914	30 875	38 486	46 251	48 065	51 465	
Bioland	20 000	36 343	60 313	84 750	102 542	116 739	153 916	
Naturland[1)]	2 720	10 830	20 270	32 027	35 766	57 440	72 177	
Biokreis	1 282	2 151	2 414	2 393	3 022	3 397	11 500	
ANOG	825	2 009	3 032	4 355	3 879	3 387	1 739	
EcoVin	420	285	669	966	871	877	901	
Gäa			9 667	20 830	26 535	35 254	41 200	
Ökosiegel				918	1 444	1 296	1 076	
Biopark[2)]					106 546	107 754	133 123	
Flächen Verbände insgesamt	42 393	75 532	127 240	184 725	326 856	374 209	467 097	515 254
Flächen nach EU-Verordnung 1257/1999[3)]				124 762	62 837	78 070	167 901	218 773
Gesamtfläche ökol. Landbau				309 487	389 693	452 279	634 998	734 027
Ökologischer Landbau in % der landwirtschaftlichen Gesamtfläche				1,8	2,3	2,6	3,7	4,3

[1)] ohne zertifizierte Waldfläche
[2)] 51 100 ha Acker-, 81 717 ha Grünland, 306 ha Dauerkulturen
[3)] eigene Berechnung
Quelle: *Stiftung Ökologie & Landbau; Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft 2004*

Abb. II 2.4-2: *Entwicklung des ökologischen Landbaus in der Europäischen Union (Stand 31.12.2004)*



Quelle: *Welsh Institute of Rural Sciences; Stiftung Ökologie & Landbau; Forschungsinstitut für biologischen Landbau 2005*

nen dem Bund Ökologische Lebensmittelwirtschaft (BÖLW) an. Der BÖLW ist bestrebt, die Entwicklung der ökologischen Lebensmittelwirtschaft zu fördern und ihre gemeinsamen Interessen zum Ausdruck zu bringen. Im Mittelpunkt der Tätigkeiten steht die Gestaltung der politischen Rahmenbedingungen.

Folgende Anbauverbände gibt es derzeit in Deutschland:

- Demeter: Forschungsring für biologisch-dynamische Wirtschaftsweise (Gründungsjahr 1924),
- ANOG: AG für naturnahen Obst-, Gemüse- und Feldfruchtanbau e.V. (Gründungsjahr 1962), seit 2002 mit Naturland zusammengeschlossen,
- Bioland: Bioland-Verband für organisch-biologischen Landbau e.V. (Gründungsjahr 1971),
- Biokreis: Biokreis Ostbayern e.V. (Gründungsjahr 1979),
- Naturland: Naturland-Verband für naturgemäßen Landbau e.V. (Gründungsjahr 1982),
- ECOVIN: Bundesverband ökologischer Weinbau e.V. (Gründungsjahr 1985),
- Ökosiegel: Ökosiegel e.V. (Gründungsjahr 1988),
- Gäa: Vereinigung Ökologischer Landbau e.V. (Gründungsjahr 1989),
- Biopark: Biopark e.V. (Gründungsjahr 1991).

Nach Angaben des BÖLW stieg die Zahl der verbandsgebundenen ökologischen Erzeugerbetriebe im Jahr 2003 um 179 Betriebe oder knapp 2 % auf insgesamt 9 566 Betriebe. Die von diesen Betrieben genutzten Anbauflächen nahm um 23 348 ha oder 4,7 % auf insgesamt 515 254 ha zu.

[1] Ulrich Hamm: Zentrale Markt- und Preisberichtstelle (ZMP), Neubrandenburg 2003 www.soel.de/oekolandbau/deutschland

II 3 Trinkwasser

Trinkwasser, hier synonym mit Wasser für den menschlichen Gebrauch gemäß der ab dem 01.01.2003 geltenden novellierten Trinkwasserverordnung, ist ein für den menschlichen Genuss und Gebrauch geeignetes Wasser, welches bestimmte, in Gesetzen und technischen Regelwerken festgelegte Güteeigenschaften erfüllen muss. Zu den Grundanforderungen gehört, dass Trinkwasser frei von Krankheitserregern ist, keine gesundheitsgefährdenden Konzentrationen an Chemikalien aufweisen darf, keimarm und appetitlich (klar, farblos, kühl, geruchlos, geschmacklich einwandfrei) sein soll.

In Deutschland ist die Überwachung des Trinkwassers durch die neue Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001) geregelt, mit der die Europäische Richtlinie über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch vom 3.11.1998 (98/83/EG) in nationales Recht umgesetzt worden ist.

Im Folgenden werden die routinemäßig in zentralen Versorgungsanlagen erhobenen Daten zur Qualität des vom Wasserwerk abgegebenen Trinkwassers dargestellt.

2001 wurden über 68 Mio. Einwohner, etwa 84 % der Bevölkerung, mit 4 212 Millionen m^3 Trinkwasser aus zentralen Anlagen versorgt. Das Rohwasser für die Trinkwasseraufbereitung kam zu 74 % aus Grundwasser, zu 17 % aus Oberflächenwasser und zu 9 % aus sonstigen Quellen, z.B. Uferfiltrat. Eine zusammenfassende Darstellung der Qualität des gesamten in Deutschland abgegebenen Trinkwassers kann wegen der inhomogenen Datenbestände nicht gegeben werden. Die in Tab. II 3-1 zusammengestellten Daten sind dem Sektoralen Bericht an die EU zur

Tab. II 3-1: *Qualität des Trinkwassers aus größeren Wasserwerken Deutschlands (Versorgungsgebiet mit mehr als 1 000 m³ oder mehr als 5 000 Einwohnern)*

Parameter	Grenzwert (nach TrinkwV 1990)	Anzahl der Messungen			Kategorie A Grenzwert eingehalten			Kategorie B Grenzwert nicht eingehalten		
		1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001
Geruch	2 bei 12 °C 3 bei 25 °C	77 571	77 420	69 225	77 554	77 412	69 223	17	8	2
Trübung	1,5 Trübungseinheiten/Formazin	78 459	81 990	79 461	78 361	81 887	79 356	95	103	105
Temperatur	25 °C	65 633	63 367	67 786	65 631	63 366	67 783	2	1	3
Leitfähigkeit	2000 µS cm^{-1}	75 923	79 006	76 944	75 923	79 005	76 944	0	1	0
pH-Wert	nicht unter 6,5 nicht über 9,5	57 270	65 391	54 622	57 217	65 254	54 588	38	137	34
freies Chlor	0,3 mg/l	47 906	50 773	39 167	47 895	50 734	39 143	11	39	24
Nitrat	50 mg/l	18 772	20 411	18 341	18 556	20 193	18 199	213	218	142
Nitrit	0,1 mg/l	13 327	14 179	12 785	13 703	14 161	12 776	30	18	9
Ammonium	0,5 mg/l	12 174	14 048	11 558	12 153	14 028	11 546	21	20	12
Coliforme Bakterien	0 in 100 ml	188 376	191 389	202 396	194 854	190 289	201 124	1 278	1 100	1 272
E. coli	0 in 100 ml	188 293	191 525	202 434	195 800	191 178	202 226	468	347	208
Koloniezahl 20 °C	100[1])(20[2])) pro ml	165 960	181 880	175 511	173 260	134 072	174 650	621	669	861
Koloniezahl 36 °C	100[1])(20[2])) pro ml	165 960	181 964	175 529	173 417	134 325	174 925	489	500	604

[1]) Richtwert; [2]) bei Desinfektion des Trinkwassers

Quelle: *Bundesministerium für Gesundheit und Soziale Sicherung 2002*

Trinkwasserbeschaffenheit entnommen. Dieser Bericht wird von der Bundesregierung alle drei Jahre für die Europäische Kommission erstellt. In ihm wird die Qualität des Trinkwassers nach einer von der EU vorgegebenen Auswahl von Parametern von jenen Wasserversorgungsanlagen aufgenommen, die mehr als 5 000 Einwohner mit Trinkwasser beliefern oder täglich mehr als 1 000 m³ Trinkwasser in das öffentliche Versorgungsnetz abgeben. Die Zahlenangaben beruhen auf den Meldungen aller 16 Länder im Zeitraum von 1999 bis 2001 nach den vorgegebenen Parametern und wurden in die Kategorie A (Grenzwert eingehalten) und in die Kategorie B (Grenzwert nicht eingehalten) eingruppiert.

Verglichen mit der Gesamtzahl an Messungen ist die Zahl der Grenzwertüberschreitungen sehr klein, sie liegt unter 1 % (mit Ausnahme von Nitrat, hier überschritten in den Jahren 1999 und 2000 jeweils 1,1 % der Proben den Grenzwert). Die Daten spiegeln insgesamt eine gute bis sehr gute Qualität des Trinkwassers in Deutschland wider. Die gezählten Grenzwertüberschreitungen allein beschreiben nicht, in welchem Ausmaß das Trinkwasser der Kategorie B beeinträchtigt ist. Darüber hinaus erlauben die Zahlen in Kategorie B auch keine Rückschlüsse auf die gelieferte Wassermenge oder die Zahl der betroffenen Konsumenten, da die Wasserversorgungsanlagen gemäß Trinkwasserverordnung ungleich häufig beprobt werden und nur die Summe der Messungen mit der Zuordnung der Ergebnisse in die jeweilige Kategorie gemeldet wird.

II 4 Badegewässer

Baden ist gesundheitsförderlich, kann aber auch mit einigen gesundheitlichen Risiken verbunden sein. Wegen des Vorkommens von bestimmten Krankheitserregern muss beim Baden in freien Gewässern mit Erkrankungen, die oft mit Fieber, Durchfall und Erbrechen einhergehen, gerechnet werden. Solche Ereignisse werden hauptsächlich durch Einleitungen aus Kläranlagen, durch diffuse Einleitungen aus Mischwasser- und Regenwasserkanälen und aus der Landwirtschaft verursacht.

Ein weiteres Problem resultiert aus der überhöhten Einleitung von Nährstoffen, vor allem von Phosphor- und Stickstoffverbindungen, die zu einer Massenentwicklung von Cyanobakterien (auch Blaualgen genannt) in Verbindung mit der Bildung von gesundheitlich relevanten Algentoxinen und Allergenen führen. Algentoxine und Allergene rufen akute Gesundheitsstörungen (z.B. Bindehautentzündung, Hautausschlag) oder chronische Wirkungen (Leberschädigung) hervor. Hinzu kommt eine starke Trübung des Gewässers, die nicht nur ein ästhetisches Problem darstellt, sondern gegebenenfalls die Rettung Ertrinkender behindern kann.

Überwachung natürlicher Badegewässer

Die Überwachung der Qualität der Freibadegewässer wird in Deutschland auf Länderebene über Landesverordnungen geregelt, in welchen die in der

EG-Richtlinie über die Qualität der Badegewässer (76/116/EWG) vom 08.12.1975 festgelegten Grenz- und Leitwerte umgesetzt sind. Diese Richtlinie ist von den Mitgliedstaaten einzuhalten. Um gesundheitliche Probleme beim Baden zu vermeiden oder zu vermindern, sollen natürliche Freibadegewässer möglichst wenig pathogene Mikroorganismen enthalten, den Gehalt an bestimmten Indikatororganismen nicht überschreiten und eine Sichttiefe von mindestens 1 m besitzen.

Für die Beurteilung gesundheitlicher Risiken werden Grenzwerte für so genannte Indikatororganismen herangezogen. Nachfolgend wird nur auf Escherichia coli *(E. coli)* und coliforme Bakterien eingegangen. Das Bakterium *E. coli* ist ein Indikator für die fäkale Verunreinigung. Dieses in der Regel harmlose Bakterium kommt im Darm von Mensch und Tier vor, gelangt mit fäkalbelasteten Abwässern in die Gewässer und zeigt damit an, dass diese verschmutzt sind. Die EG-Richtlinie schreibt vor, dass Badegewässer höchstens 2 000 E. coli-Bakterien in 100 ml Wasser enthalten dürfen. Die so genannten coliformen Bakterien sind Bakterien, die auch außerhalb des Darmes leben. Sie dürfen in Badegewässern bis zu einer Konzentration von 10 000 Bakterien in 100 ml nachweisbar sein. Außer diesen Werten, die als Grenzwerte bezeichnet werden, gibt die EG-Badegewässerrichtlinie niedrigere und daher strengere Werte vor, die möglichst anzustreben sind. Diese werden als Leitwerte bezeichnet (100 E. coli/100 ml und 500 coliforme Bakterien/ 100 ml).

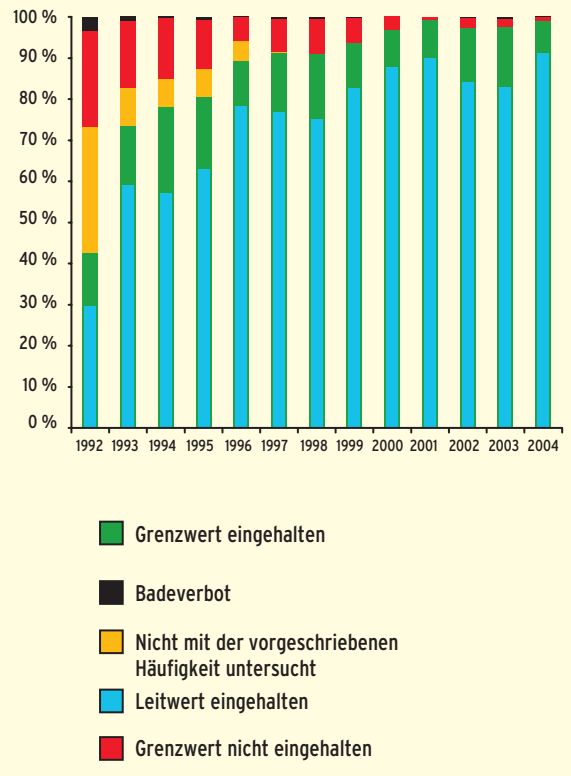
Qualität der Badegewässer in Deutschland von 1992 bis 2004

In Deutschland wurden 2004 insgesamt 1 951 Badestellen, davon 390 an der Küste, als so genannte EU-Badestellen geführt. Die hygienischen Daten dieser Badestellen wurden der EU gemeldet, die daraus für jede Badestelle eine Qualitätseinstufung vornahm (Abb. II 4-1 und Abb. II 4-2).

Bewertung

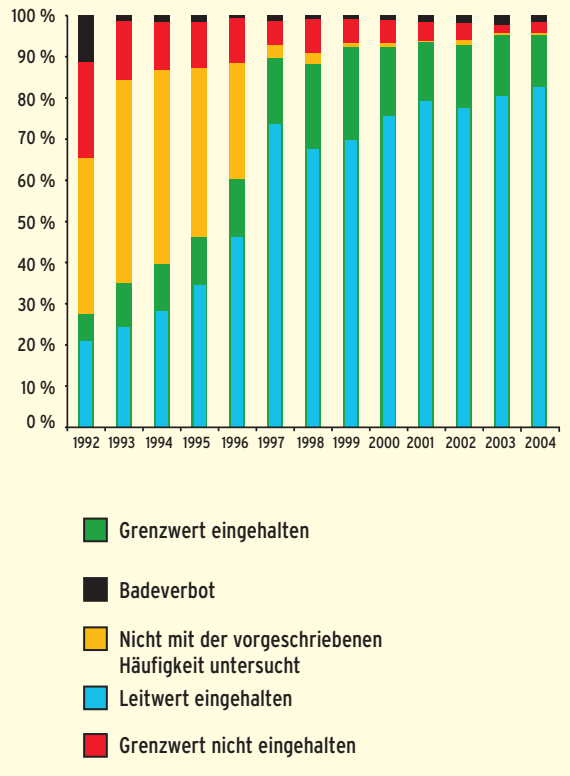
Seit 1992 nahm die Zahl der Richt- und Grenzwertüberschreitungen und damit auch die Verschmutzung der Gewässer kontinuierlich ab. Dennoch ist nicht auszuschließen, dass vom Badegewässer ein Gesundheitsrisiko ausgeht. Als 1975 in der EG-Badegewässerrichtlinie die Grenzwerte festgelegt wurden, ging man davon aus, dass bei Einhaltung dieser Grenzwerte keine nennenswerten Gesundheitsrisiken bestehen, vor allem deshalb, weil in jenen Ländern, in denen damals ähnliche Werte gültig waren, keine auffälligen Häufungen von badebedingten Erkrankungen zu beobachten waren. Mitt-

Abb. II 4-1: *Badegewässerqualität an den Küsten Deutschlands*



Quelle: *Europäische Kommission 2005*

Abb. II 4-2: *Badegewässerqualität an den Binnengewässern Deutschlands*



Quelle: *Europäische Kommission 2005*

lerweile verdichtet sich aus epidemiologischen Studien zum Infektionsrisiko von Badenden der Verdacht, dass die zurzeit gültigen Grenzwerte zu hoch liegen. So wurde eine erhöhte Zahl von Erkrankungen auch nach dem Baden in solchen Gewässern beobachtet, in denen die EG-Grenzwerte eingehalten wurden. Schwere Erkrankungen traten zwar nicht auf. Zu den Erkrankungen gehörten aber leichte, einige Tage dauernde, ohne Behandlung von selbst ausheilende Durchfälle. Eine Novellierung der EG-Richtlinie wird daher auch wegen strengerer Grenzwerte zur Zeit auf EU-Ebene diskutiert.

III LÄRM

Jedes Geräusch, das zu Störungen, Belästigungen, Beeinträchtigungen oder Schäden führen kann, wird als Lärm bezeichnet. Lärm kann man nicht mit physikalischen Messverfahren erfassen, denn Lärm ist das Ergebnis kognitiver Auseinandersetzung mit Geräuschen. Messen kann man die physikalischen Eigenschaften von Geräuschen, den Schalldruck, das Geräuschspektrum etc. Zur Kennzeichnung der Geräuschbelastung wird der Schalldruckpegel in Dezibel (dB(A)) angegeben.

III 1 Beeinträchtigungen durch Lärm aus verschiedenen Quellen

Kaum ein Bürger oder eine Bürgerin bleibt in Deutschland von Lärm verschont. Das geht aus einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage an ca. 2 000 Erwachsenen zum „Umweltbewusstsein in Deutschland 2004“ hervor (Tab. III 1-1).

Tab. III 1-1: *Lärmbelästigung der Bevölkerung nach Geräuschquellen 2004*

Geräuschquelle	Gestört und belästigt (Angaben in %)				
	äußerst	Stark	mittelmäßig	etwas	überhaupt nicht
Straßenverkehr	4	6	20	30	40
Nachbarn	2	4	11	26	57
Flugverkehr	1	3	8	20	68
Industrie u. Gewerbe	0	2	5	12	81
Schienenverkehr	1	2	5	12	80

Quelle: *Umweltbundesamt 2004*

Verkehrslärm

Die dominierende Lärmquelle im Wohnumfeld ist wie in den früheren Jahren der Straßenverkehr, durch den sich immer noch mehr als die Hälfte der Bevölkerung belästigt und 10 % (8 Mio. Menschen) „stark belästigt“ fühlen.

Nach dem Straßenverkehr ist der Luftverkehr die bedeutendste Ursache für Lärmbelästigungen in Deutschland: Bundesweit fühlt sich fast jeder Dritte durch Fluglärm belästigt.

Durch Schienenverkehr fühlt sich etwa ein Fünftel der Bevölkerung belästigt.

Industrie- und Gewerbelärm

Industrie und Gewerbe belästigen ein Fünftel der Bevölkerung.

Nachbarschaftslärm

Der Umfrage zufolge zählen auch Geräusche der Nachbarn zu den bedeutenden Lärmbelästigungsursachen. So fühlen sich dadurch über 40 % belästigt.

Geräuschbelastung durch Straßen- und Schienenverkehr

Die Belastung der Bevölkerung durch Verkehrsgeräusche wird im Allgemeinen anhand von Modellrechnungen geschätzt (Tab. III 1-2). Im Vergleich zu früheren Jahren haben sich die Eingangsgrößen für die Modellrechnungen nicht wesentlich verändert. Die mit technischen Maßnahmen an den Fahrzeugen erreichten geringeren Geräuschemissionen werden z. B. beim Straßenverkehr durch gestiegene Fahrleistungen wieder ausgeglichen.

Der Straßenverkehr ist auch 1999 wie in den vorangegangenen Jahren die dominierende Geräuschquelle. Mit Schallpegeln von über 65 dB(A) sind tags 15,6 % der Bevölkerung und mit Pegeln über 55 dB(A) knapp die Hälfte der Bevölkerung belastet. Auch nachts ist die Geräuschbelastung an vielen Stellen hoch. So sind etwa 17 % der Bevölkerung Pegeln über 55 dB(A) und 31 % Pegeln über 50 dB(A) ausgesetzt.

Tab. III 1-2: *Geräuschbelastung der Bevölkerung (alte Länder) durch Verkehrslärm*

Mittelungspegel	Bevölkerung in (%), belastet durch:			
	Straßenverkehr 1999		Schienenverkehr 1997	
[dB(A)]	tags	nachts	tags	nachts
> 45 – 50	16,4	17,6	12,4	15,5
> 50 – 55	15,8	14,3	14,9	10,8
> 55 – 60	18	9,3	10,4	6,2
> 60 – 65	15,3	4,2	6,2	2,7
> 65 – 70	9	2,9	2,3	0,9
> 70 – 75	5,1	0,2	0,7	0,4
> 75	1,5	0	0,1	0,1

Quelle: *Umweltbundesamt 2000*

Der durch Schienenverkehr belastete Anteil der Bevölkerung ist geringer als beim Straßenverkehr. 1997 sind vom Schienenverkehr tags 3,1 % der Bevölkerung mit Pegeln über 65 dB(A) und ca. 20 % mit Pegeln über 55 dB(A) betroffen. Nachts sind etwa 10 % der Bevölkerung Pegeln über 55 dB(A) und 21 % über 50 dB(A) ausgesetzt.

Bewertung

Geräusche können nicht nur belästigen oder die Kommunikation stören, sondern auch durch chroni-

sche Beeinträchtigung des Schlafes, der Erholung und der geistigen Arbeit eine Gesundheitsgefährdung darstellen.

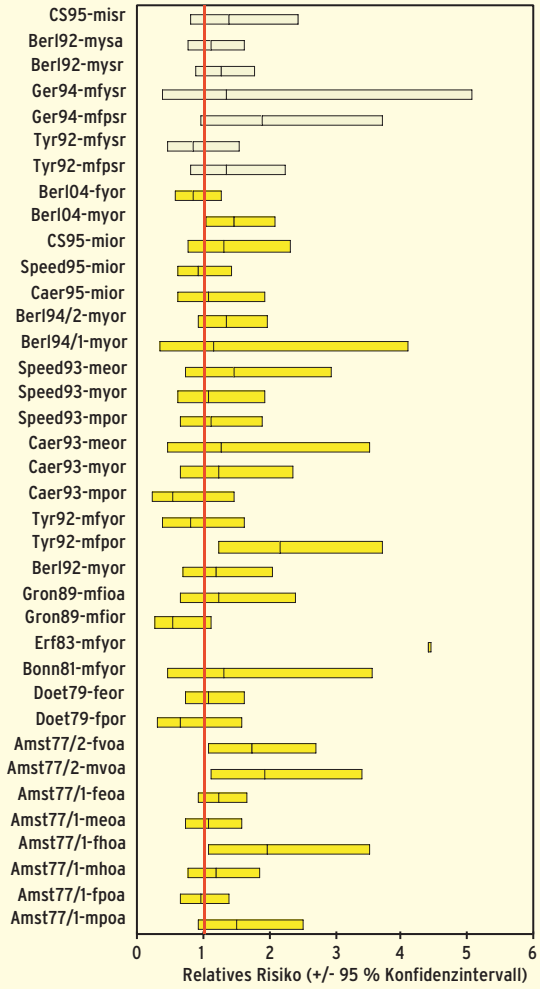
Die durch Straßen- und Schienenverkehr verursachten Geräusche können vegetative und endokrine Reaktionen (extraaurale Wirkungen) hervorrufen. Bei Pegeln über 45 dB(A) ist nachts bei geöffneten Fenstern mit Schlafstörungen zu rechnen, bei Pegeln über 65 dB(A) tags sind erhöhte Risiken z.B. für Herzkreislauferkrankungen zu befürchten.

Aus epidemiologischen Studien lässt sich auf einen Zusammenhang zwischen Verkehrslärm und ischämischen Herzkrankheiten (z.B. Angina pectoris, Herzinfarkt) schließen [1], [2]. Das Ergebnis einer Auswertung solcher Studien ist in der Abb. III 1-1 in Form einer Auswertung internationaler Studien dargestellt. Die einzelnen Studien sind durch ein Kürzel, das den Untersuchungsort und das Publikationsjahr sowie die untersuchte Bevölkerungsgruppe erfasst, ausgedrückt (siehe Legende der Abbildung). So bedeutet beispielsweise „Berl92-myor", dass die Studie in Berlin erstellt und 1992 veröffentlicht wurde. Untersucht wurden Männer (m), die betrachte Krankheit Herzinfarkt (y) und die Geräuschquelle Straßenverkehr (r), der messtechnisch (o) erfasst wurde.

Für die einzelnen Verkehrslärmstudien sind relative Risiken (RR) mit statistischen Streubereichen (95 % Konfidenzintervalle) aufgetragen. Nach rechts verschobene Balken mit RR über 1 lassen erkennen, dass ischämische Herzkrankheiten häufiger in Gebieten mit höherer Verkehrslärmbelastung auftreten als in solchen mit geringer Belastung. Liegt der gesamte Streubereich oberhalb von 1, so ist der Unterschied statistisch signifikant.

Anhand von Modellrechnungen des Umweltbundesamtes ist zu befürchten, dass ca. 12 Mio. Bewohner Deutschlands verkehrslärmbedingt dem erhöhten Risiko einer ischämischen Herzkrankheit unterliegen. Derzeit ist oberhalb eines Immissionspegels von tagsüber 65 dB(A) und nachts 55 dB(A) außerhalb der Wohnungen von einem nennenswerten Anstieg des Risikos auszugehen. Die Unterschreitung dieser Pegel stellt daher ein zu erreichendes Umweltqualitätsziel dar. Gegenüber den Ergebnissen früherer Untersuchungen lassen neue Studienergebnisse von 2004 [3] keinen Schwellenwert für eine Risikoerhöhung erkennen. Das bedeutet, dass auch bei moderaten Immissionspegeln geringfügig erhöhte Herz-Kreislauf-Risiken bestehen.

Abb. III 1-1: *Statistischer Zusammenhang zwischen Verkehrslärm und ischämischen Herzkrankheiten*



Legende: Geschlecht: f Frauen, m Männer; Lärmmessung: o objektive (Schallpegel), dunkelgelber Balken; s subjektiv (Belästigung), hellgelber Balken; Lärmart: a Fluglärm; r Straßenverkehrslärm; Herzkrankheit: e EKG-ischämische Zeichen, h Herzbeschwerden, i ischämische Herzkrankheiten, p Angina pectoris, v kardiovaskuläre Beschwerden allgemein, y Herzinfarkt

Quelle: *Umweltbundesamt 1998*

[1] Babisch, W.: Epidemiological studies on cardiovascular effects of traffic noise. In: Prasher, D. and Luxon, L. (eds.): Advances in noise research, Volume 1: Biological effects of noise. Whurr Publishers Ltd., London 1998, 312-327

[2] Babisch. W.: (2000) Traffic noise and cardiovascular disease: epidemiological review and synthesis. Noise Health 2 (2000), 9-32

[3] Umweltbundesamt (Hrsg.): Chronischer Lärm als Risikofaktor für den Myokardinfarkt. Forschungsbericht 297 61 003, UBA-FB 000538. Berlin 2004

III 2 Instrumente und Maßnahmen zur Reduktion der Beeinträchtigung durch Lärm

Eine deutliche Minderung der Beeinträchtigungen durch den Umgebungslärm des Straßen-, Schienen- und Flugverkehrs lässt sich nur durch die abgestimmte Anwendung einer Vielzahl von Einzelinstrumenten

erreichen – von der Fahr- und Flugzeugtechnik über das Steuerrecht bis zur Verkehrsplanung.

Neben Instrumenten der Verkehrsvermeidung (u.a. Stichwort „Stadt der kurzen Wege“) und der Verlagerung von Verkehr auf umweltschonendere Verkehrsmittel kommt in einem solchen Konzept dem Stand der Technik entsprechenden Maßnahmen zur Begrenzung der Geräuschemissionen besondere Bedeutung zu. Diese Maßnahmen „an der Quelle“ wirken flächendeckend und haben insofern Vorrang vor nur lokal wirksamen Lärmschutzwänden oder -fenstern. Instrumente zur Minderung der Geräuschemissionen zielen auf leisere Fahr- und Flugzeuge, Fahrweisen, An- und Abflugverfahren sowie Fahrwege. Im Hinblick darauf müssen vor allem Emissionsgrenzwerte konsequent an den Stand der Technik angepasst werden; die Fortentwicklung des Standes der Technik muss durch Förderung und steuerliche Anreize vorangebracht werden.

Emissionsgrenzwerte für Kraftfahrzeuge

Richtlinien der EU, die in die Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) übernommen wurden, legen Messverfahren und Emissionsgrenzwerte für das Fahrgeräusch (Maximalpegel der beschleunigten Vorbeifahrt in 7,5 m Abstand) der einzelnen Fahrzeugkategorien fest. Die Emissionsgrenzwerte wurden für Pkw, Lkw und Busse in den 80er Jahren in zwei Stufen herabgesetzt. Die letzte Senkung ist seit Oktober 1996 für alle Neufahrzeuge gültig. Darüber hinaus wurde eine EU-weite Geräuschvorschrift für alle in den Handel kommenden Reifen als wichtige Voraussetzung zur Senkung der Reifen- und Fahrbahngeräusche erlassen.

Fahrgeräuschtypprüfung für Pkw und Lkw

Kraftfahrzeuge müssen die in der StVZO festgelegten Grenzwerte für Geräuschemissionen einhalten, falls sie zum Betrieb auf öffentlichen Straßen zugelassen werden. Dazu werden die Fahrgeräusche von Kraftfahrzeugen nach einem vorgeschriebenen Messverfahren („Typprüfmessverfahren“) bestimmt und als Typprüfwert vom Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) in die Fahrzeugpapiere eingetragen. Das KBA bereitet derzeit eine Überarbeitung des Typprüfmessverfahrens vor, um eine bessere Anpassung der im Typprüfmessverfahren festgelegten Fahr- und Betriebszustände an die im realen Verkehr relevanten Zustände zu gewährleisten.

Emissionsgrenzwerte für Eisenbahnen

Die Europäische Kommission beabsichtigt, im Rahmen der Richtlinie 2001/16/EG vom 19. März 2001 über die Interoperabilität des konventionellen transeuropäischen Eisenbahnsystems, europaweit verbindliche Anforderungen – auch zu Lärmemissionen von neu zugelassenen Schienenfahrzeugen - in „Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI)“ festzulegen. Die Bundesregierung wird sich für fortschrittliche Lärmschutzstandards einsetzen. Ein weiterer Beitrag zur flächendeckenden Reduzierung des Schienenverkehrslärms ist von Maßnahmen an Eisenbahnfahrzeugen im Betrieb, vor allem von der Aus- und Umrüstung der besonders lauten Güterwagen auf leisere Komposit-Bremssohlen, zu erwarten. Als unterstützende Maßnahme von Seiten der Eisenbahn-Infrastrukturunternehmen könnte eine emissionsabhängige Staffelung der Trassenpreise in Betracht kommen.

Emissionsgrenzwerte für Flugzeuge

Die Internationale Zivilluftfahrt-Organisation (ICAO) hat 2001 die Lärmgrenzwerte für neue Verkehrsflugzeuge um 10 Dezibel (Summenwert an drei Lärmmesspunkten) gesenkt. Die Fortentwicklung des Standes der Technik erfordert eine weitere Senkung der Grenzwerte. Mit der neuen Richtlinie 2002/30/EG über „Regeln und Verfahren für lärmbedingte Betriebsbeschränkungen auf Flughäfen der Gemeinschaft“ vom 26.3.2002 (ABl. EG Nr. L 85, S. 40) wurde erstmals ein gemeinschaftsweiter Rahmen für die Einführung von lärmbedingten Betriebsbeschränkungen geschaffen.

Immissionsgrenzwerte

Straßen- und Schienenlärm

Für den Lärmschutz beim Neubau oder bei einer wesentlichen Änderung öffentlicher Straßen sowie Schienenwege der Eisenbahnen und Straßenbahnen sind in der Verkehrslärmschutzverordnung vom 12.06.1990 (16. BImSchV) Immissionsgrenzwerte zum Schutz der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Verkehrsgeräusche festgelegt (Lärmvorsorge).

Für den Lärmschutz an bestehenden Verkehrswegen bestehen keine derartigen Rechtsvorschriften, jedoch gelten für die Sanierung von Bundesfernstraßen die „Richtlinien für den Verkehrslärmschutz an Bundesfernstraßen in der Baulast des Bundes“ von 1997, in denen Sanierungswerte geregelt sind. Für die Lärmsanierung an bestehenden Schienenwegen der Eisenbahnen des Bundes besteht seit 1999 ein Sanierungsprogramm; jährlich werden aus dem Bundeshaushalt rund 51 Mio. EUR zur Verfügung gestellt und nach Maßgabe von Sanierungswerten, die mit denen für die Bundesfernstraßen übereinstimmen, für den Schallschutz verwandt.

Fluglärm

Für den Lärmschutz in der Umgebung der größeren Flugplätze sind im Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm vom 30.03.1971 (BGBl. I S. 282) Grenzwerte für die Festsetzung von Lärmschutzbereichen geregelt, in denen Ansprüche auf baulichen Schallschutz bestehen sowie Bauverbote und Baubeschränkungen gelten. Die Bundesregierung hat am 25.05.2005 den Entwurf eines Gesetzes zur Novellierung des Fluglärmgesetzes beschlossen, das das Ziel verfolgt, für alle Flughäfen den Schutz der Bevölkerung vor Lärm deutlich zu verbessern.

Lärmkartierung und Lärmminderungsplanung

Wegen der Anforderungen der Richtlinie 2002/49/EG, die zur Zeit in deutsches Recht umgesetzt wird, müssen zukünftig für alle Hauptverkehrsstraßen, Haupteisenbahnstrecken, große Flughäfen sowie Lärmquellen in Ballungsräumen strategische Lärmkarten aufgestellt werden. Auf dieser Grundlage sind anschließend Lärmminderungspläne mit dem Ziel zu erarbeiten, durch Verkehrsplanung, Raumordnung, technische Maßnahmen an der Quelle und Schallschutzmaßnahmen sowie wirtschaftliche Anreize den Umgebungslärm zu bekämpfen.

Minderung des Nachbarschaftslärms

Ein so genannter „Gebäudepass – Akustik“ wird derzeit entwickelt. Dieser enthält alle wichtigen akustisch relevanten Daten eines Gebäudes oder einer Wohnung. Für Käufer oder Mieter eines Wohnobjektes sind die akustisch relevanten Bauqualitäten als „verborgene Qualitätseigenschaften“ nur schwierig erkennbar. Der Gebäudepass – Akustik führt alle Schallschutzmaßnahmen klassifiziert auf. Die Festlegung von Schallschutz-Gütestufen macht den realisierten Schallschutz im Gebäude für den Nutzer transparent. Ein solcher Pass würde beim Bau angelegt, bei Änderungen aktualisiert und als Zusatz zum Miet- oder Kaufvertrag an die Bewohner weitergegeben.

III 3 Entwicklung der Geräuschemissionen verschiedener Quellen

Geräuschemissionen von Personenkraftwagen und Lastkraftwagen

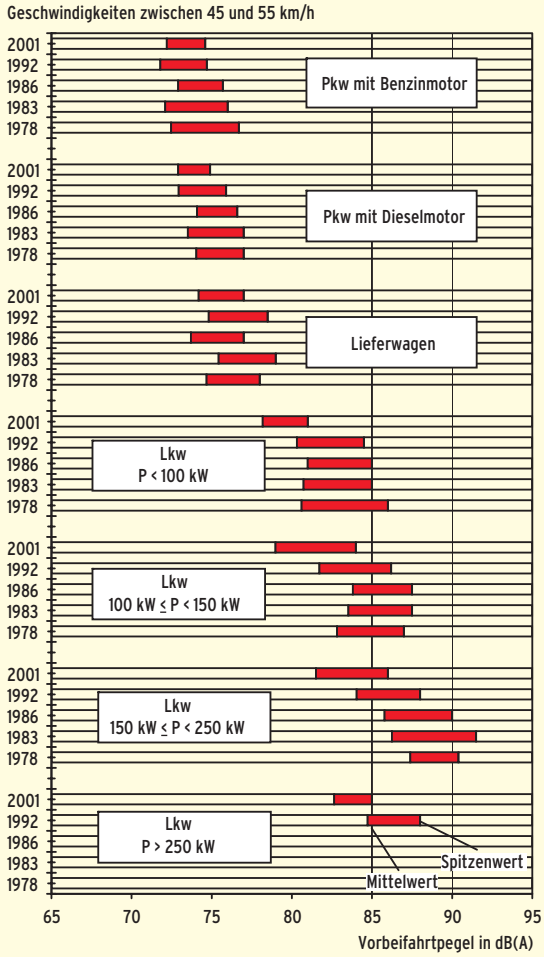
Entwicklung der Vorbeifahrtpegel

Die Senkung der Geräuschgrenzwerte für Kraftfahrzeuge hat in den zurückliegenden 25 Jahren nicht zu einer entsprechenden Minderung der Geräuschemissionen im realen Verkehr geführt (Abb. III 3-1 und Abb. III 3-2).

- Bei den Personenkraftwagen sind die durchschnittlichen Geräuschemissionen innerorts unverändert geblieben und bei Konstantfahrt außerorts sogar leicht gestiegen.
- Bei Nutzfahrzeugen war innerorts ein Rückgang der Vorbeifahrtpegel um bis zu 5 dB(A) zu beobachten. Dabei wurde die größte Reduzierung der Geräuschemissionen innerorts bei schweren Lastkraftwagen erreicht. Bei Konstantfahrten außerorts konnte diese positive Entwicklung leider nicht beobachtet werden. Die Vorbeifahrtpegel blieben hier weitgehend unverändert.

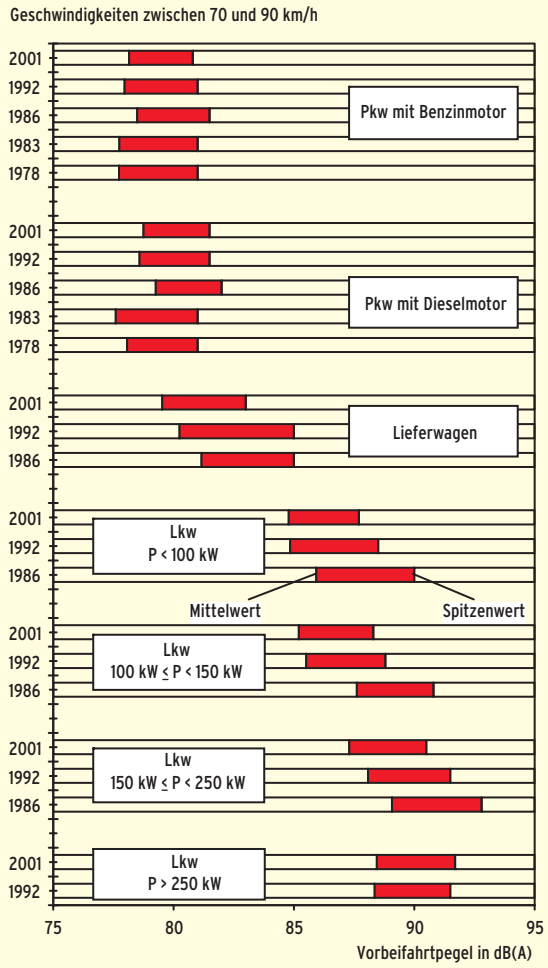
Bei höheren Geschwindigkeiten bestimmt das Reifen-/Fahrbahngeräusch die Geräuschemissionen von Kraftfahrzeugen. Geräuschoptimierte Reifen und Fahrbahnbeläge können daher einen wirksamen Beitrag zur Minderung der Geräuschemissionen im Straßenverkehr leisten.

Abb. III 3-1: *Entwicklung der Vorbeifahrtpegel verschiedener Fahrzeugklassen bei der Konstantfahrt innerorts*



Quelle: *Umweltbundesamt 2005*

Abb. III 3-2: *Entwicklung der Vorbeifahrtpegel verschiedener Fahrzeugklassen bei der Konstantfahrt außerorts*



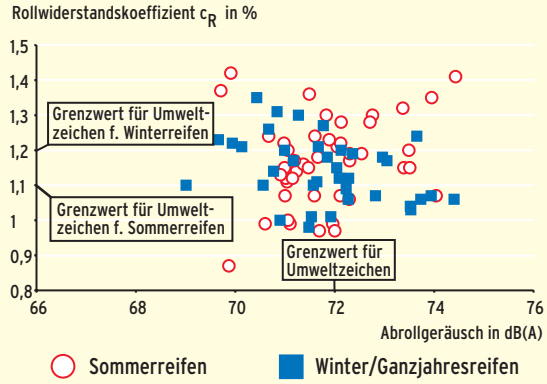
Quelle: *Umweltbundesamt 2005*

Der reifenbedingte Anteil am Reifen-/Fahrbahngeräusch (Abrollgeräusch) schwankt bei Pkw-Reifentypen, die dem aktuellen Stand der Technik entsprechen, um 3–4 dB(A). Außerdem zeigt sich, dass es weder einen Widerspruch zwischen Geräuscharmut und dem für den Kraftstoffverbrauch entscheidenden Rollwiderstandsbeiwert (Abb. III 3-3) noch einen Zielkonflikt zu anderen sicherheitsrelevanten Kenngrößen des Reifens gibt. Durch den Kauf lärmarmer und kraftstoffsparender Reifen kann jeder einzelne Kfz-Fahrer zur Verminderung des Straßenverkehrslärms beitragen.

Geräuschemission von Windenergieanlagen

Die Bundesregierung unterstützt mit dem Umwelt- und Energiesparprogramm (ERO) unter anderem die Einrichtung von Windenergieanlagen (Kap. VII 1.3). Im Jahr 2001 wurden rund 1,5 Mrd. EUR für die Finanzierung dieser Projekte durch die Deutsche Ausgleichsbank in Form zinsverbilligter und langfristiger Förderkredite bereitgestellt.

Abb. III 3-3: *Abhängigkeit des Abrollgeräusches vom Rollwiderstandskoeffizienten (gemessen an 82 Reifentypen)*

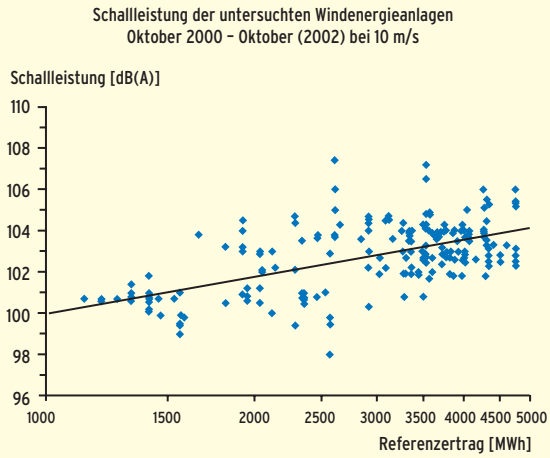


Quelle: *TÜV Automotive GmbH 2003*

Bei der Förderung der Windenergieanlagen gibt es im Zusammenhang mit der umweltpolitischen Förderwürdigkeit die Anforderungen an den Lärmschutz, die den Stand der Technik bei der Einrichtung und dem Betrieb derartiger Anlagen gewährleisten sollen.

Das UBA hat die Geräuschentwicklung derartiger Anlagen untersucht. Insgesamt hat das Amt 587 Datensätze von 1 923 Einzelanlagen ausgewertet. Die Ergebnisse zeigt die Abb. III 3-4. Dargestellt ist die Abhängigkeit der Schallleistung der Anlagen in Abhängigkeit vom Referenzertrag nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz. Der Referenzertrag ist dabei ein Maß für die Strommenge, die dieser Anlagentyp bei Errichtung an einem Referenzstandort in fünf Betriebsjahren erbringen würde.

Abb. III 3-4: *Schallleistung der untersuchten Windenergieanlagen in Abhängigkeit vom Referenzertrag*



Quelle: *Umweltbundesamt 2004 a*

IV STRAHLEN

Die Bevölkerung wird gegenüber ionisierender und nichtionisierender Strahlung exponiert.

IV 1 Exposition der Bevölkerung durch ionisierende Strahlen

Die Bevölkerung ist einer natürlichen Strahlenexposition ausgesetzt, die sich aus der kosmischen (Höhenstrahlung) und der terrestrischen Komponente (Bodenstrahlung) sowie aus der Exposition durch die Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe in den Körper zusammensetzt. Veränderungen der Umwelt des Menschen durch technische Entwicklungen, die eine Anreicherung natürlich radioaktiver Stoffe oder Erhöhung der ionisierenden Strahlung zur Folge haben, führen zu einer zivilisatorisch bedingten Erhöhung der natürlichen Strahlenexposition. Vor allem Radon in Gebäuden und natürlich radioaktive Stoffe aus Bergbau- und Verarbeitungsprozessen können zur Erhöhung beitragen. Die Beiträge zur zivilisatorischen Strahlenexposition der Bevölkerung resultieren aus dem Betrieb kerntechnischer Anlagen, aus der Anwendung ionisierender Strahlung und radioaktiver Stoffe in Medizin, Forschung, Technik und Haushalt sowie aus dem Fallout von Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre und dem Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl im Jahr 1986.

IV 1.1 Strahlenexposition der Bevölkerung durch natürliche und künstliche Quellen

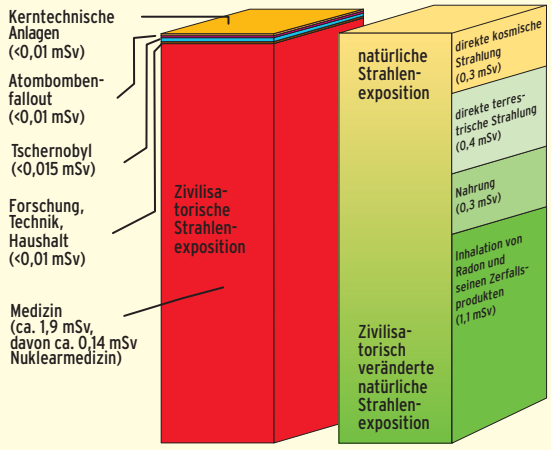
Die mittlere effektive Dosis der Bevölkerung durch die natürliche und die zivilisatorisch veränderte natürliche Strahlenexposition beträgt zusammen 2,1 mSv pro Jahr. Bei der zivilisatorischen Strahlenexposition kann der Dosisbeitrag durch die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin auf etwa 1,9 mSv pro Jahr geschätzt werden. Die Beiträge der anderen Strahlenquellen sind sehr gering.

Die berechnete Gesamtexposition beträgt damit 4,0 mSv pro Jahr.

Die Dosisbeiträge für Deutschland im Jahr 2003 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die natürliche Strahlenexposition setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen. Die äußere Exposition durch Höhenstrahlung beträgt im Mittel 0,3 mSv/a, die durch Bodenstrahlung im Mittel 0,4 mSv/a. Bei der internen Strahlenexposition durch Inkorporation radioaktiver Stoffe wird zwischen Inhalation (im Mittel 0,2 mSv/a bei ständigem Aufenthalt im Freien) und Ingestion unterschieden. Kalium-40 sowie die Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen von Uran-238 und Thorium-232 werden über Trinkwasser und Nahrung (Ingestion) aufgenommen und rufen eine mittlere effektive Jahresdosis von 0,3 mSv hervor. Diese unvermeidbare natürliche Strahlenexposition von insgesamt 1,2 mSv/a erhöht sich noch durch den zivilisatorisch bedingten Aufenthalt in Häusern (Inhalation von Radonzerfallsprodukten) um 0,9 mSv/a auf insgesamt 2,1 mSv pro Jahr.
- Die effektive Dosis der zivilisatorischen Strahlenexposition lag bei ca. 1,9 mSv pro Einwohner und Jahr. Der größte Beitrag wurde durch die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin, besonders durch die Röntgendiagnostik, verursacht.
- Bei der beruflichen Strahlenexposition hat sich der Beitrag in den Jahren 2000 bis 2003 nicht wesentlich verändert. Die Zahl der beruflich Strahlenexponierten betrug im Jahr 2003 ca. 314 000. Die mittlere Jahresdosis der Überwachten mit von Null verschiedenen Jahrespersonendosiswerten (ca. 48 000 Personen) beläuft sich auf 0,92 mSv.
- Der Beitrag der Strahlenexposition durch Atomkraftwerke und sonstige kerntechnische Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung blieb auch im Jahr 2003 unter 1 % der zivilisatorischen Strahlenexposition. Die Jahresemissionen radioaktiver Stoffe lagen bei allen kerntechnischen Anlagen unterhalb, bei den meisten weit unterhalb der genehmigten Jahreswerte.
- Die durch den Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl resultierende mittlere Strahlenexposition der Bevölkerung ging zwar von 0,11 mSv im Jahr 1986 auf weniger als 0,015 mSv im Jahr 2003 zurück, dennoch finden sich in Lebensmitteln aus Waldgebieten vereinzelt noch stark erhöhte Cäsium-137-Werte. Regional treten Expositionen auf, die bis zu einer Größenordnung über den genannten liegen.
- Der Beitrag der Strahlenexposition durch die in den vergangenen Jahrzehnten in der Atmosphäre durchgeführten Kernwaffenversuche zur effektiven Dosis ist weiterhin rückläufig und betrug 2003 weniger als 0,01 mSv. Seit 1981 wurden keine Kernwaffenversuche in der Atmosphäre durchgeführt (Abb. IV 1.1-1 und Tab. „Mittlere effektive Dosis der Bevölkerung 2003“).

Abb. IV 1.1-1: *Mittlere effektive Jahresdosis durch ionisierende Strahlung im Jahr 2003 (Gemittelt über die Bevölkerung Deutschlands)*



Quelle: *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2004*

IV 1.2 Strahlenexposition durch Radon in Gebäuden

Radonkonzentrationen in Wohnungen

Anfang der 80er Jahre wurde in 5 970 Wohnungen Westdeutschlands die Radonkonzentration über jeweils drei Monate gemessen. Diese Untersuchungen wurden im Zeitraum von 1991 bis 1994 durch Messungen des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) über ein Jahr in 1 515 als Zufallsstichprobe ausgewählten Häusern von 50 Städten und Gemeinden der neuen Länder ergänzt. Darüber hinaus wurde im Rahmen von Forschungsprojekten eine große Zahl von Messungen zur Untersuchung

- der gesundheitlichen Wirkung der Radonexposition in Häusern,
- der Zusammenhänge zwischen der Geologie des Baugrundes, der Bauweise und der Radonkonzentration in Gebäuden
- sowie einiger, im besonderen öffentlichen Interesse stehender Umstände (z.B. Radonexposition durch Bergbau und bergbauliche Hinterlassenschaften)

durchgeführt.

Insgesamt wurde die Radonkonzentration in über 50 000 Häusern (ca. 0,4 % des Bestandes an Wohngebäuden) gemessen.

Bereits 1990 hatte die Europäische Kommission eine „Empfehlung zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden“ [1] für die Radonkonzentration in Wohnräumen verabschiedet (Tab. IV 1.2-1).

Tab. IV 1.2-1: *Von der Europäischen Kommission empfohlene Werte für die Radonkonzentration in Wohnräumen*

	Bq/m³ [1]	Maßnahmen
Planungsniveau für Neubauten	200	Der Planungswert soll für die Festlegung von Bestimmungen, Normen und Bauleitlinien in allen Fällen verwendet werden, in denen dieser Wert andernfalls überschritten werden könnte.
Referenzwert für bestehende Häuser	400	Die Dringlichkeit der Maßnahmen richtet sich nach der Überschreitung des Referenzwertes

[1] Jahresmittelwert, übliche Raumnutzung

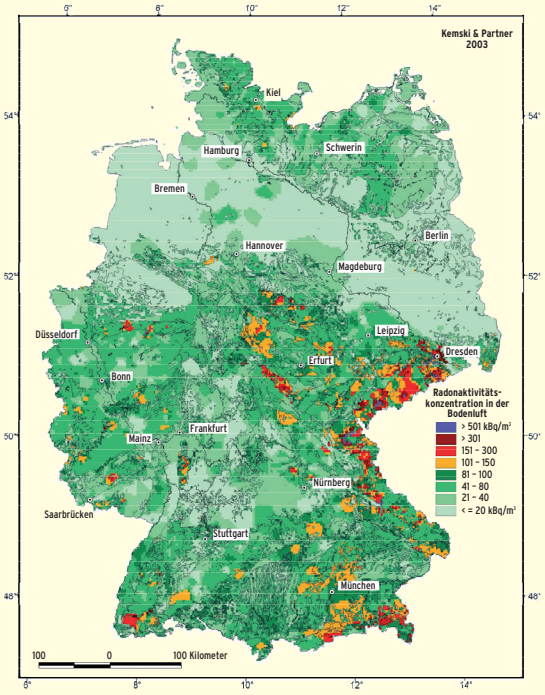
Quelle: *Europäische Kommission 1990*

Die Radonkonzentration in Häusern Deutschlands wird vor allem durch die Radonkonzentration in der Bodenluft im Baugrund bestimmt. Die in den einzelnen Bundesländern vorkommenden erhöhten Radonkonzentrationen in Häusern sind deshalb nicht gleichmäßig über die Landesflächen verteilt, sondern konzentrieren sich auf bestimmte geologische Regionen. Die höchsten geogenen Radonkonzentrationen wurden in Häusern gemessen, in deren Untergrund Granit vorkommt. Eine Übersicht über die Radonkonzentration in der Bodenluft in 1 m Tiefe zeigt die Abb. IV 1.2-1. Diese ist eine Übersichtskarte für Planungszwecke. Die Datenbasis reicht nicht für detaillierte Aussagen über kleinräumige Gebiete oder gar für Prognosen der Exposition von Einzelhäusern aus [2].

Die Tab. IV 1.2-2 gibt einen Überblick über die auf Bundesländer bezogene Verteilung der Radonkonzentration in Wohngebäuden mit ein oder zwei Wohnungen. Dargestellt ist der Anteil der Gebäude mit Radonkonzentrationen über 100, 200 und 1 000 Bq/m³ in Aufenthaltsräumen. Diese Daten wurden entsprechend dem derzeitigen Kenntnisstand auf der Grundlage der regionalen Verteilung der Radonkonzentration in der Bodenluft sowie der Ergebnisse von Messungen der Radonkonzentration in Gebäuden über mehrere Monate bis zu einem Jahr geschätzt.

Die in Gebäuden der Bundesrepublik Deutschland gemessenen Radonkonzentrationen sind hinsichtlich ihres geogenen Anteils vergleichbar mit denen anderer Staaten. Rein geologisch bedingt können

Abb. IV 1.2-1: *Regionale Verteilung der Radonkonzentration in der Bodenluft*



Quelle: *Bundesamt für Strahlenschutz 2003*

im Jahresmittel Spitzenwerte von einigen Tausend Bq/m³ auftreten. Radonmessungen in Bergbaugebieten ergaben, dass bei gebäudenah verlaufenden bergmännischen Auffahrungen oder der Bebauung von Halden die Radonkonzentration in Häusern noch deutlich darüber liegen kann.

Der Mittelwert der Radonkonzentration in Wohnräumen beträgt in Deutschland ungefähr 50 Bq/m³.

Gegenwärtig wird davon ausgegangen, dass in ca. 38 % der Fläche Deutschlands Radonkonzentrationen unter 20 kBq/m³ in der Bodenluft vorkommen. Bei der Bebauung solcher Flächen ist in der Regel durch einen fachgerechten Schutz der Gebäude gegen von außen angreifende Bodenfeuchte gleichzeitig ein hinreichender Schutz gegen Bodenradon gegeben.

In Gebieten mit Radonkonzentrationen zwischen 20 und 100 kBq/m³ (58 % der Fläche Deutschlands) sollte neben den oben genannten Feuchteschutzmaßnahmen eine durchgehende, konstruktiv bewehrte, mindestens 15 cm dicke Bodenplatte eingebaut werden.

In ca. 4 % der Fläche überschreitet die Radonkonzentration in der Bodenluft 100 kBq/m³. Dort sollte anstelle der Bodenplatte eine nach DIN 1045 bemessene und bewehrte Fundamentplatte angeordnet werden. Darüber hinaus ist es an diesen Standorten sinnvoll, objektbezogen zusätzliche Maßnahmen zum Schutz gegen das Eindringen von Bodenradon wie die Verwendung von radondichten Folien und Drainagen anzuwenden. Hinweise hierzu findet man im Radon-Handbuch Deutschland [3].

Weitere Informationen sind auch von der Internet-Seite des BfS unter der Adresse http://www.bfs.de/bfs/druck/infoblatt/massnahmen_radon.html abzurufen.

Tab. IV 1.2-2: *Radonkonzentration in Wohnhäusern der Bundesländer*

Nr.	Bundesland	Anzahl der Gebäude mit ein oder zwei Wohnungen mit Radonkonzentrationen in Aufenthaltsräumen				
		Bestand 31.12.1999[1)]	>100 Bq/m³	>200 Bq/m³	>400 Bq/m³	>1000 Bq/m³
1	Schleswig-Holstein	596 171	45 800	11 000	2 500	200
2	Hamburg	142 095	5 000	800	200	Unwahrscheinlich
3	Niedersachsen	1 652 184	88 000	26 000	4 900	600
4	Bremen	94 567	3 800	1 400	100	Unwahrscheinlich
5	Nordrhein-Westfahlen	2 629 009	250 000	77 000	23 000	3000
6	Hessen	1 037 495	76 000	20 000	5 200	800
7	Rheinland-Pfalz	920 781	94 000	30 000	9 100	1 500
8	Baden-Württemberg	1 756 105	160 000	51 000	15 000	2 500
9	Bayern	2 297 391	310 000	120 000	41 000	6 400
10	Saarland	258 111	16 000	4 000	900	100
11	Berlin	151 675	5 400	800	200	Unwahrscheinlich
12	Mecklenburg-Vorpommern	446 810	19 000	5 900	700	Wenig wahrscheinlich
13	Brandenburg	263 810	19 000	4 900	1 200	Wenig wahrscheinlich
14	Sachsen	528 401	92 000	41 000	16 000	3 500
15	Sachsen-Anhalt	429 977	41 000	14 000	4 300	600
16	Thüringen	402 063	69 000	28 000	9 700	1 400

[1)] Datenbasis: Statistische Landesämter, Fortschreibung des Gebäude- und Wohnungsbestandes zum 31.12.1999

Quelle: *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2003*

Radon als wichtiger Risikofaktor für Lungenkrebs

Lungenkrebs ist derzeit die mit Abstand häufigste Krebstodesursache bei Männern in Deutschland. Bei Frauen steht Lungenkrebs an dritter Stelle mit stark steigender Tendenz. Das Bronchialkarzinom gehört zu den bösartigen Tumoren mit sehr schlechter Prognose. Fast 90 % aller Neuerkrankungen führen innerhalb eines Jahres zum Tode. Da keine verbesserten Therapieverfahren in Sicht sind, stellen präventive Maßnahmen die einzige Möglichkeit dar, um die Zahl der Erkrankungen zu reduzieren. Bekanntermaßen ist das Rauchen der über alles dominierende Risikofaktor. Weitgehend in der Bevölkerung unbekannt ist jedoch, dass erhöhte Radonkonzentrationen in Wohnungen die zweitwichtigste Ursache für Lungenkrebs sind.

Die gesundheitliche Gefährdung geht nicht vom Radongas selbst aus, sondern von seinen kurzlebigen radioaktiven Zerfallsprodukten (Polonium, Wismut, Blei), die sich zum großen Teil an Staubpartikel anlagern. Ihre Inhalation führt zu einer selektiven Bestrahlung des Bronchialepithels durch dicht ionisierende Alpha-Strahlung mit hoher biologischer Wirksamkeit. Dadurch kann es zu einer Schädigung der Zellen kommen und eine Krebserkrankung begünstigt werden.

Seit den 80er Jahren wurden in Europa, Nordamerika und China mehr als 20 große epidemiologische Studien zu Lungenkrebs und Radon in Wohnungen durchgeführt [4], [5], [6]. Die Ergebnisse dieser Studien liegen inzwischen publiziert vor und zeigen übereinstimmend ein erhöhtes Lungenkrebsrisiko durch Radon in Wohnungen. Der Zusammenhang zwischen Radonkonzentration und Risiko kann dabei am besten über ein lineares Dosis-Wirkungs-Modell ohne Schwellenwert erklärt werden, d.h. jede noch so geringe Radonkonzentration erhöht das Lungenkrebsrisiko. Die Gesamtevidenz der Studien ergibt einen Anstieg des Lungenkrebsrisikos um etwa 10 % pro Zunahme der Radonkonzentration um 100 Bq/m^3. Dies entspricht einer Verdoppelung des Lungenkrebsrisikos bei 1 000 Bq/m^3.

Zu den größten Studien gehören die zwei vom BfS in Auftrag gegebenen Fall-Kontroll-Studien in Ost- und Westdeutschland [7], [8], die unter Leitung von Prof. Dr. Dr. H.E. Wichmann, GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Institut für Epidemiologie in Neuherberg, in den Jahren 1990 bis 1996 durchgeführt wurden. Die jetzt abgeschlossene gemeinsame Auswertung beider deutschen Studien umfasst 2 963 Lungenkrebspatienten und eine Bevölkerungsstichprobe von 4 232 Personen [9]. In über 9 000 Wohnungen, die von den Probanden entweder zum Zeitpunkt der Studie oder früher bewohnt worden waren, wurde die Höhe der Radonkonzentration gemessen. Anschließend wurde für jeden Probanden die mittlere Radonkonzentration der letzten 5 bis 35 Jahre berechnet. Im ostdeutschen Studiengebiet (Thüringen und Sachsen) lag der Mittelwert bei 75 Bq/m^3, im westdeutschen Studiengebiet (Eifel, Ostbayern, Teile Nordrhein-Westfalens und Saarland) bei 50 Bq/m^3. Alter, Geschlecht, das lebenslange Rauchverhalten sowie weitere Risikofaktoren wurden in allen Risikoanalysen berücksichtigt. Auch in dieser Studie konnte ein 10-prozentiger Anstieg des Risikos pro Anstieg der Radonkonzentration um 100 Bq/m^3 belegt werden. Die Ergebnisse der Innenraumstudien passen sehr gut zu den Risikoschätzungen aus Bergarbeiterstudien bei Extrapolation in den Niedrig-Dosis-Bereich.

Inzwischen liegt auch die gepoolte europäische Studie vor, die eine statistische Signifikanz der biologischen Wirkung des Radons bereits ab dem Bereich von 100 – 200 Bq/m^3 nachweist [10] .

Synergistische Wirkung von Radon und Rauchen

Ein Durchschnittsraucher hat ein etwa 15fach höheres Lungenkrebsrisiko als ein Nichtraucher, ein starker Raucher sogar ein 40- bis 50fach höheres Risiko. Demgegenüber ist eine Risikoverdoppelung durch Radon bei einer Konzentration von 1 000 Bq/m^3 im Vergleich zu 0 Bq/m^3 vergleichsweise gering. Besonders nachteilig wirkt sich jedoch aus, dass die Effekte von Radon und Rauchen weitgehend synergistisch wirken. Dies bedeutet, dass bei gleichzeitigem Vorliegen von beiden Risikofaktoren sich die Effekte nicht addieren, sondern multiplizieren. Ein Durchschnittsraucher mit einer Radonkonzentration von 1 000 Bq/m^3 in der Wohnung hat also ein 15 mal 2, sprich 30fach erhöhtes Lungenkrebsrisiko. Die Mehrzahl der radoninduzierten Lungenkrebserkrankungen tritt deshalb bei Rauchern und Raucherinnen auf.

Gesundheitspolitische Relevanz von Radon

Das relative Lungenkrebsrisiko durch Radon erscheint mit einem zusätzlichen Risiko von 10 % pro Anstieg der Radonkonzentration um 100 Bq/m^3 auf den ersten Blick gering. Da aber eine Vielzahl von Menschen in der Allgemeinbevölkerung davon betroffen sind, stellt Radon ein wichtiges Gesundheitsproblem dar. Frühere Schätzungen aus Westdeutschland ergaben, dass etwa sieben Prozent aller Lungenkrebsfälle auf das Radon zurückzuführen sind [11]. Rechnet man dies grob auf Deutschland um, so wären von den jährlich 40 000 neu diagnostizierten Lungenkrebserkrankungen fast 3 000 strahleninduziert. Radon ist damit nach Rauchen die zweitwichtigste Ursache für Lungenkrebs. Ein wichtiger

Schritt zur Reduktion der Zahl der Lungenkrebserkrankungen ist neben dem Eindämmen des Rauchens die Verringerung der Radonkonzentrationen in Wohnungen. Das Bundesumweltministerium bereitet derzeit eine gesetzliche Regelung zum Schutz vor Radon beim Aufenthalt in Gebäuden vor mit dem Ziel, die Radonexposition in Gebäuden auf Werte unter 100 Bq/m^3 zu senken. Ab einer Exposition von 100 Bq/m^3 sollen zeitlich gestaffelt je nach Höhe der Radonkonzentration Sanierungsmaßnahmen bei bereits bestehenden Gebäuden durchgeführt werden und bauliche Auflagen für neu zu errichtende Gebäude gestellt werden.

[1] Europäische Kommission: Empfehlung der Kommission vom 21. Februar 1990 zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden (90/143 Euratom), Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 80/26 vom 27.03.90

[2] Kemski, J., Siehl, A., Stegemann, R., Valdivia-Manchego, M.: Geogene Faktoren der Strahlenexposition unter besonderer Berücksichtigung des Radonpotentials. Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMU-1999-534, 133 S., Bonn, 1999

[3] Bundesamt für Strahlenschutz/Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), Radon-Handbuch Deutschland, Bremerhaven 2001

[4] Lubin, J.E.: Studies of radon and lung cancer in North America and China. Rad Prot Dosimetr 2003; 315-319

[5] Darby, S.C., Hill, D.C.: On behalf of the European Collaborative Group on residential radon and lung cancer: Health effects of residential radon: a European perspective at the end of 2002. Rad Prot Dosimetry 104 (2003) 321-329

[6] Schaffrath-Rosario, A., Heid, I.M., Kreienbrock, L., Heinrich, J., Wellmann, J., Kreuzer, M., Steinwachs, A., Langer, B., Wichmann, H.E.: Bewertung des Lungenkrebsrisikos durch Radon in Wohnungen in Deutschland mit Hilfe statistisch-epidemiologischer Methoden. Abschlußbericht des Forschungsvorhabens, Förderkennzeichen StSch 4237, Bundesamt für Strahlenschutz 2004

[7] Kreuzer, M., Heinrich, J., Wölke, G., Schaffrath-Rosario, A., Gerken M, Wellmann J, Keller G, Kreienbrock L, Wichmann HE. Residential radon and risk of lung cancer in Eastern Germany. Epidemiology 14 (2003): 559-568

[8] Kreienbrock, L., Kreuzer, M., Gerken, M., Dingerkus, G., Wellmann, J., Keller, G., Wichmann, H.E.: Casecontrol study on lung cancer and residential radon in West Germany. Am J Epidemiol 153 (2001) 42-52

[9] Steindorf, K., Lubin, J.H., Wichmann, H.E., Becher, H.: Lung cancer deaths attributable to indoor radon exposure in West Germany. Int J Epidemiology 24 (1995) 485-492

[10] Darby, S., Hill, D. et al, BMJ 330 (2005) 223–227

[11] Wichmann, H.E., Schaffrath-Rosario, A., Heid, I.M., Kreuzer, M., Heinrich, J., Kreienbrock, L.: Increased lung cancer risk due to residential radon in a pooled and extended analysis of studies in Germany. Health Phys 2004, in press

IV 1.3 Häufigkeit und Dosis röntgendiagnostischer Untersuchungen in Deutschland – Aktuelle Auswertung für die Jahre 1996 bis 2001

Das BfS erhebt bereits seit Anfang der 90er Jahre Daten zur medizinischen Strahlenexposition in Deutschland und wertet diese aus – zuletzt für die Jahre 1994 und 1997. Mit Inkrafttreten der novellierten Röntgenschutzverordnung (RöV) im Jahr 2002 wurde dem BfS die regelmäßige Ermittlung der medizinischen Strahlenexposition der Bevölkerung als Amtsaufgabe übertragen. Ausgewertet wird nach der Häufigkeit der durchgeführten Untersuchungen und nach der kollektiven effektiven Strahlendosis. Die effektive Dosis berücksichtigt die unterschiedliche Empfindlichkeit der Organe und Gewebe bezüglich der stochastischen Strahlenwirkung (Induktion einer Krebserkrankung oder eines genetischen Defektes). Die Einheit der effektiven Dosis ist das Sievert (Sv). Die kollektive Dosis ist die über die Gesamtbevölkerung aufsummierte effektive Dosis. Sie wird berechnet als Produkt aus Bevölkerungszahl und mittlerer Dosis pro Person.

Die derzeit aktuellste Auswertung der Daten zur Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen in Deutschland bezieht sich auf die Jahre 1996 bis 2001. Hierbei wurde ein neues Konzept für die Ermittlung der medizinischen Strahlenexposition umgesetzt. Angestrebt wurden dabei die folgenden Ziele:

- Entwicklung eines Verfahrens, mit dem eine einheitliche Auswertung von Zeitreihen und damit eine Trendanalyse möglich wird. Auf Basis des nun entwickelten Konzepts soll die Evaluierung der medizinischen Strahlenexposition auch in Zukunft erfolgen.
- Anpassung des Verfahrens an internationale Standards, die sich vor allem durch die Erhebungen in der Schweiz und dem Vereinigten Königreich – beide aus dem Jahr 2000 – herausgebildet haben. Dies betrifft u.a. die Definition des Begriffs „Untersuchung“. Er beinhaltet jetzt alle Röntgen-Leistungen, die – bezogen auf ein Organ – zur Beantwortung einer klinischen Fragestellung mittels einer Röntgenmodalität notwendig sind. So wird z.B. bei einer Angiographie am Herzen jetzt nicht mehr jeder Teilschritt (Kontrastmitteleinbringung, 1. Serie, 2. Serie, etc.) als getrennte Untersuchung gezählt, sondern alle Teilschritte zusammen als eine Untersuchung. Andererseits werden in der vorliegenden Auswertung alle Zahnaufnahmen (Projektionen) als gesonderte Untersuchungen gerechnet, sofern sie unterschiedliche Zähne bzw. Zahngruppen betreffen.
- Berücksichtigung von aktuellen Erhebungen zur CT-Untersuchungspraxis im Berichtszeitraum sowie von Ergebnissen neuerer vom BMU geförder-

ter Forschungsvorhaben (bundesweite Erhebung zur Häufigkeit von Röntgenuntersuchungen im stationären Bereich, Erhebungen zur Dosisermittlung im konventionellen Bereich) sowie der aktuellen Literatur.

Wie die bisherigen Auswertungen zur Häufigkeit röntgendiagnostischer Untersuchungen basiert auch die aktuelle Evaluierung auf Daten der Kostenträger wie der kassenärztlichen und kassenzahnärztlichen Bundesvereinigungen sowie des Verbandes der privaten Krankenversicherungen. Mittlerweile hat sich ein regelmäßiger und strukturierter Datentransfer eingespielt. Bei stationären Leistungen der allgemeinen Pflegekasse werden jedoch keine Einzelleistungen mit den Kostenträgern abgerechnet. Die Häufigkeit der durchgeführten Röntgenuntersuchungen muss daher aus den Daten für die ambulanten Leistungen geschätzt werden. Bei vorangegangenen BfS-Auswertungen wurden für diese Schätzung relativ unsichere Daten einer früheren Stichprobenerhebung an Krankenhäusern sowie einer Trendanalyse im kassenambulanten und privatärztlichen Bereich Anfang der 90er Jahre verwendet. In die aktuelle Analyse fließen dagegen erste Resultate eines derzeit noch laufenden Forschungsvorhabens ein. Röntgenuntersuchungen, die durch Unfallversicherungsträger abgerechnet oder bei der Bundeswehr durchgeführt werden, konnten noch nicht quantifiziert werden. Nach den bisherigen Erfahrungen machen diese Untersuchungen ca. 5 % der Gesamt-Häufigkeit und ca. 2–3 % der kollektiven Dosis aus. Bei den aktuell präsentierten Zahlen zur Häufigkeit und effektiven Dosis wurden daher vorläufig 5 % bzw. 2,5 % aufgeschlagen.

Ergebnisse der aktuellen Auswertung für die Jahre 1996–2001

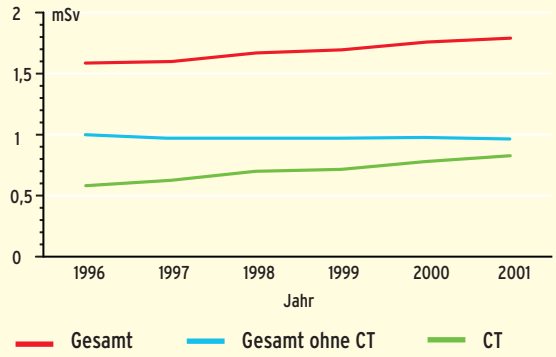
Häufigkeit röntgendiagnostischer Untersuchungen

Während des beobachteten Zeitraumes schwanken die Werte zwischen 1,78 und 1,85 Untersuchungen pro Einwohner und Jahr ohne Hinweis auf einen Trend. Auch die relative Häufigkeit der verschiedenen Untersuchungsverfahren variiert nur wenig, wobei die zahnmedizinische Röntgendiagnostik konstant etwa ein Drittel der Gesamtzahl der Röntgenuntersuchungen ausmacht. In der Trendanalyse am auffälligsten ist die stetige Zunahme der CT-Untersuchungen von ca. 7 % pro Jahr über den gesamten beobachteten Zeitraum. Dennoch ist der Anteil dieses dosisintensiven Verfahrens an der Gesamtzahl der Röntgenuntersuchungen derzeit noch vergleichsweise gering. Er erreichte 2001 einen Wert von etwa 6 %. Im Gegensatz zur CT zeigen die konventionellen Untersuchungen im Bauchraum einschließlich des Magen-Darm-Trakts, des Gallesystems und des Harntrakts eine Abnahme der Häufigkeiten (Abb. IV 1.3-1).

Kollektive effektive Dosis

Im Gegensatz zur Gesamthäufigkeit, ist für die – rein rechnerische – effektive Dosis pro Einwohner ein kontinuierlicher Anstieg von ca. 1,6 mSv im Jahr 1996 auf ca. 1,8 mSv im Jahr 2001 – also um ca. 2 % pro Jahr – über den beobachteten Zeitraum zu verzeichnen. Der für das Jahr 1997 vom BfS früher abgeschätzte Wert von 2 mSv stimmt innerhalb der angegebenen Unsicherheit von ± 0,5 mSv mit diesen Werten überein. Der im Rahmen der aktuellen Auswertung festgestellte Dosisanstieg ist im Wesentlichen durch den signifikanten Anstieg der CT-Untersuchungshäufigkeit bedingt. Der Anteil der effektiven Dosis durch CT-Untersuchungen an der kollektiven effektiven Dosis lag 1996 noch bei ca. einem Drittel und erreichte 2001 einen Anteil von etwa der Hälfte. Demgegenüber zeigt die effektive Dosis pro Einwohner bei den restlichen Untersuchungsverfahren einen nahezu konstanten Verlauf (Abb. IV 1.3-2).

Abb. IV 1.3-2: *Mittlere effektive Dosis durch Röntgen- und CT-Untersuchungen pro Einwohner*

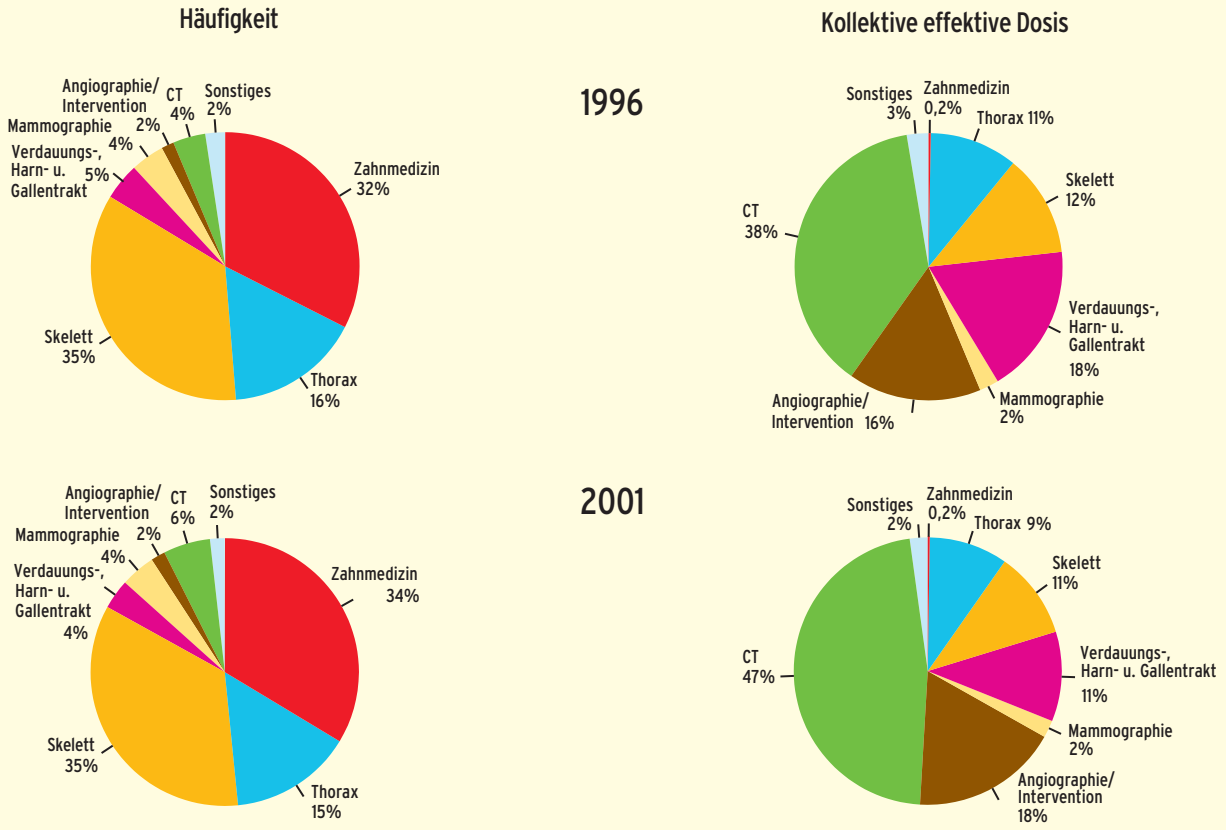


Quelle: *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2004*

Deutschland im internationalen Vergleich

Im Vergleich zu anderen Ländern liegt Deutschland sowohl bezüglich der Häufigkeit als auch der effektiven Dosis pro Einwohner im oberen Bereich. Die Bundesrepublik ist jedoch keinesfalls „Weltmeister im Röntgen“. Diese Einschätzung beruhte auf einem Vergleich der im UNSCEAR-Report 2000 [1] für verschiedene Länder angegebenen Zahlen. Bei der vergleichenden Bewertung ist jedoch Vorsicht geboten, da aufgrund der unterschiedlichen Gesuntheitssysteme die Auswertungsschemata in den verschiedenen Ländern sehr unterschiedlich und uns zum Teil auch nicht hinreichend bekannt sind. Darüber hinaus sind die im UNSCEAR Report 2000 für verschiedene Länder angegebenen Daten zu Häufigkeit

Abb. IV 1.3-1: *Prozentualer Anteil der Röntgenuntersuchungen an der Häufigkeit und an der kollektiven effektiven Dosis in Deutschland für die Jahre 1996 und 2001*



Quelle: *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2004*

und Dosis zum Teil inkonsistent. Nach aktuellen Daten aus der Literatur [2], [3] ist allein die aus CT-Untersuchungen resultierende jährliche effektive Dosis pro Einwohner mit etwa 1,6 mSv in den USA in der Größenordnung bzw. mit 2,3 mSv in Japan höher als die Gesamtdosis von 1,8 mSv für alle in Deutschland durchgeführten Röntgenuntersuchungen (einschließlich CT, Angiographie und interventioneller Radiologie).

Probleme bei der strahlenhygienischen Bewertung

Die weltweit beobachtete Zunahme der Häufigkeit und Dosis von Röntgenuntersuchungen spiegelt die gestiegene Wertigkeit der bildgebenden Verfahren in Diagnostik, Therapieplanung und Therapiemonitoring wider. Deutschland leistet sich ein sehr hohes Niveau der medizinischen Versorgung.

Bei der Bewertung der medizinischen Strahlenexposition muss zudem berücksichtigt werden, dass sich die Dosis sehr ungleichmäßig auf die Bevölkerung verteilt. Betroffen sind nur Patienten, also der Teil der Bevölkerung, der aus der Exposition einen unmittelbaren diagnostischen oder therapeutischen Nutzen ziehen kann. Zudem handelt es sich bei Patienten typischerweise häufig um ältere Menschen, die eine deutlich geringere Empfindlichkeit bezüglich stochastischer Strahlenschäden aufweisen als Jüngere. Weiterhin ist im Vergleich zur Normalbevölkerung die Lebenserwartung von schwer erkrankten Patienten oft deutlich verkürzt. Gerade diese Patienten werden aber aufgrund ihrer Erkrankung häufig mehrfach untersucht. Voraussetzung für eine umfassende strahlenhygienische Bewertung der medizinischen Strahlenexpositionen ist somit die Ermittlung der Geschlechts- und Altersverteilung der Patienten sowie der Indikationsstellung bei den erbrachten Leistungen. Diese Angaben sind aber aus Gründen des Datenschutzes nur mit großen Schwierigkeiten und Ungenauigkeiten zu erfassen, da sie eine Einsichtnahme in personenbezogene Krankenakten erfordern. Ein Forschungsprojekt zur Erhebung von alters- und geschlechtsspezifischen Daten im stationären Bereich wurde vom Bundesamt für Strahlenschutz in Auftrag gegeben.

Eine diesbezügliche Qualitätssicherung erfolgt durch die ärztlichen und zahnärztlichen Stellen auf Grundlage der Regelungen in der Strahlenschutzverordnung und der Röntgenverordnung.

[1] UNSCEAR 2000 Report: Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report of the United Nations Scientific Com-

mittee on the Effects of Atomic Radiation. Volume I: Sources, United Nations, New York 2000
[2] Linton, O.W., Mettler, F.A. Jr.: National Council on Radiation Protection and Measurements. National Conference on dose reduction in CT, with an emphasis on pediatric patients. Am J Roentgenol 181 (2003) 321-329
[3] Nishizawa, K., Matsumoto, M., Iwai, K., Maruyama, T.: Survey of CT practice in Japan and collective effective dose estimation. Nippon Acta Radiologica 64 (2004) 151-158

IV 2 Exposition der Bevölkerung gegenüber nichtionisierender Strahlung

Durch die fortschreitende technische Entwicklung ist die Bevölkerung in immer größerem Umfang nichtionisierender Strahlung, vor allem niederfrequenten Feldern der Energieversorgung und hochfrequenten Feldern drahtloser Kommunikationsnetze, ausgesetzt. Der Ausbau der Mobilfunknetze in Deutschland, besonders die Einführung der UMTS-Technologie, hat eine öffentliche Diskussion über mögliche gesundheitliche Risiken neuer Kommunikationstechnologien ausgelöst.

Den Bereich der nichtionisierenden Strahlung (NIR) bilden niederfrequente elektrische und magnetische (im Frequenzbereich von 0 bis 100 kHz) bzw. hochfrequente elektromagnetische Felder (100 kHz bis 300 GHz) sowie die optische Strahlung, zu der die ultraviolette (UV) Strahlung mit Wellenlängen zwischen 100 und 400 Nanometern (nm) gehört.

Im Gegensatz zur ionisierenden Strahlung fehlt der nieder- und hochfrequenten Strahlung die Energie, um in biologischen Systemen durch Ionisierungsvorgänge schädliche Radikale zu bilden oder Mutationen im Genom auszulösen. Die Wirkung niederfrequenter elektrischer und magnetischer sowie hochfrequenter elektromagnetischer Felder äußert sich in Kräften, die auf elektrische Ladungen ausgeübt werden. Im Falle der hochfrequenten Felder kann dies zu Temperaturerhöhungen führen. Basierend auf wissenschaftlich nachgewiesenen gesundheitlichen Konsequenzen werden unter Berücksichtigung internationaler Erkenntnisse Grenzwertempfehlungen ausgesprochen. Die derzeit gültigen Grenzwerte für feststehende Nieder- und Hochfrequenzanlagen sind in der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) festgeschrieben. Bewertungen des wissenschaftlichen Kenntnisstandes zeigten jedoch Unsicherheiten insofern auf, als Hinweise auf mögliche biologische Wirkungen bei Intensitäten von nieder- und hochfrequenten Feldern unterhalb der gültigen Grenzwerte existieren. Nationale wie internationale Organisationen, wie z.B. die SSK empfehlen deshalb, weiterhin Forschung zu betreiben, um mögliche biologische Wirkungen zu untersuchen und deren gesundheitliche Relevanz abschätzen zu können.

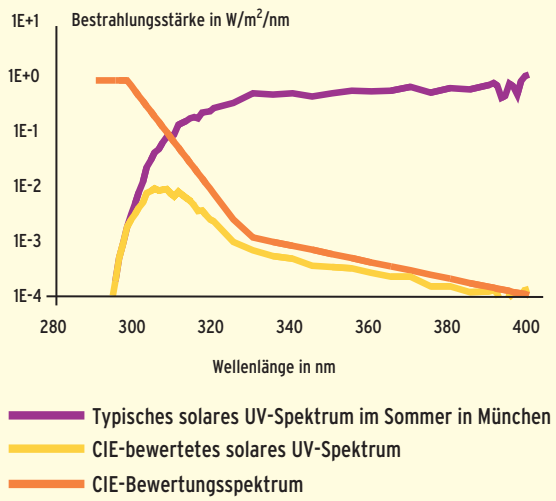
Nach einer bayerischen Studie liegt die Exposition der Bevölkerung mit niederfrequenten Magnetfeldern, wie sie von feststehenden Niederfrequenzanlagen sowie von Haushaltsgeräten emittiert werden, im Mittel weit unter den gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerten. Die Einhaltung der Grenzwerte von feststehenden Hochfrequenzanlagen wird in einem Anzeigeverfahren zur Erteilung der Standortbescheinigung durch die Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP) nach telekommunikationsrechtlichen Vorschriften geprüft. In verschiedenen Messkampagnen der RegTP wurde gezeigt, dass die Grenzwerte in den Bereichen, in denen sich Menschen aufhalten, erheblich unterschritten werden.

IV 2.1 Solare UV-Strahlung

Die Intensität der Sonne ist selbst in unseren Breitengraden im Sommer ausreichend hoch, um die Gesundheit des Menschen zu beeinflussen. Wegen der geringen Eindringtiefe sind vor allem die Haut, die Augen und das Immunsystem betroffen. Akute Wirkungen der UV-Exposition umfassen vor allem Erytheme (Sonnenbrand) der Haut und Photokeratitis des Auges. Zu den chronischen Wirkungen zählen die Katarakt (Linsentrübung) des Auges, frühzeitige Hautalterung und Hautkrebs. Obwohl das Risiko einer Katarakt bereits durch die natürliche Umgebungsstrahlung erhöht und die häufigste Ursache von Erblindung weltweit ist, stellt die solare UV-Strahlung in Deutschland aufgrund höherer unkontrollierter Exposition für die Haut ein sehr viel größeres Gefährdungspotenzial dar. Aus diesem Grund wird die Haut für eine gesundheitliche Bewertung der solaren UV-Strahlung hier bevorzugt behandelt.

Die oben aufgeführten Wirkungen der UV-Strahlung sind stark wellenlängenabhängig, jedoch für die Bräunung (Melagonese), für die Lichtentzündung (Erythembildung), für die Erzeugung von Hautkrebs (Karzinogenese) sowie für die vorzeitige Hautalterung (Elastose) sehr ähnlich. Daher kann keine Bestrahlung eine einzige gewünschte Wirkung allein erzeugen, ohne gleichzeitig auch die anderen Effekte zu verursachen. Da das Erythem der am ehesten bemerkbare akute Effekt ist, wenn auch erst nach Schadenssetzung, stellt dieses für eine gesundheitliche Bewertung der UV-Strahlung einen geeigneten Indikator dar. Für die Ermittlung dieser „sonnenbrandwirksamen“ UV-Werte werden die Spektren zunächst mit der Erythem-Wirkungsfunktion (CIE) gewichtet und über den Wellenlängenbereich von 290 bis 400 nm integriert (Abb. IV 2.1-1).

Abb. IV 2.1-1: *Bewertung von UV-Spektren*



Quelle: *Bundesamt für Strahlenschutz 2004*

Die Abbildung IV 2.1-2 zeigt die jährlichen Verläufe der gemessenen erythemwirksamen Bestrahlungsstärken aller vier Stationen des solaren UV-Messnetzes von BfS/UBA jeweils um 11 Uhr UTC [1]. Diese Werte entsprechen den Bestrahlungsverhältnissen um den Sonnenhöchststand für jeden Tag des Jahres an den vier Stationen. Wie stark die bodennahe UV-Strahlung vom Sonnenstand abhängt, zeigt vor allem der Vergleich der Einstrahlung zur Sommer- und Winterzeit. Während in München im Sommer Werte von über 200 mW/m^3 auftreten können, liegen diese im Winter nur bei ca. 20 mW/m^3. Aber auch der Einfluss des Breitengrades ist deutlich in den Messwerten zu erkennen. Die maximale erythemwirksame Bestrahlungsstärke erreichte auf Zingst einen Wert von 160 mW/m^3 und auf dem Schauinsland knapp 240 mW/m^3, d.h. im Süden einen 1,3-fach höheren Wert als im Norden Deutschlands.

Die höchsten erythemgewichteten Bestrahlungsstärken des Jahres 2003 traten erwartungsgemäß im Sommer im Süden Deutschlands auf. Zwischen dem 132. Tag (12.5.2003) und dem 231.Tag (19.8.2003) überstieg die erythemwirksame Bestrahlungsstärke auf dem Schauinsland den Wert E = 190 mW/m^3. Dies entspricht einem UV-Index [2] von 7-8 und wird von der Strahlenschutzkommission (SSK) als Grenze zur sehr hohen UV-Exposition klassifiziert. Bei dieser Höhe empfiehlt die SSK, unbedingt Schutzmaßnahmen gegenüber der UV-Strahlung zu ergreifen. In Neuherberg wurde in einem etwas kürzeren Zeitraum vom 150. Tag (30.5.2003) bis 231. Tag (19.8.2002) der obige Wert überschritten. Im Norden Deutschlands in Zingst gab es keinen Tag mit einem so hohen Wert. Dort erreichten die Messwerte Werte von bis zu 170 mW/m^3. Dies entspricht einem UV-Index von immerhin noch 6, einer nach Klassifikation der SSK hohen UV-Exposition. Nach deren Empfehlungen sind Schutzmaßnahmen erforderlich.

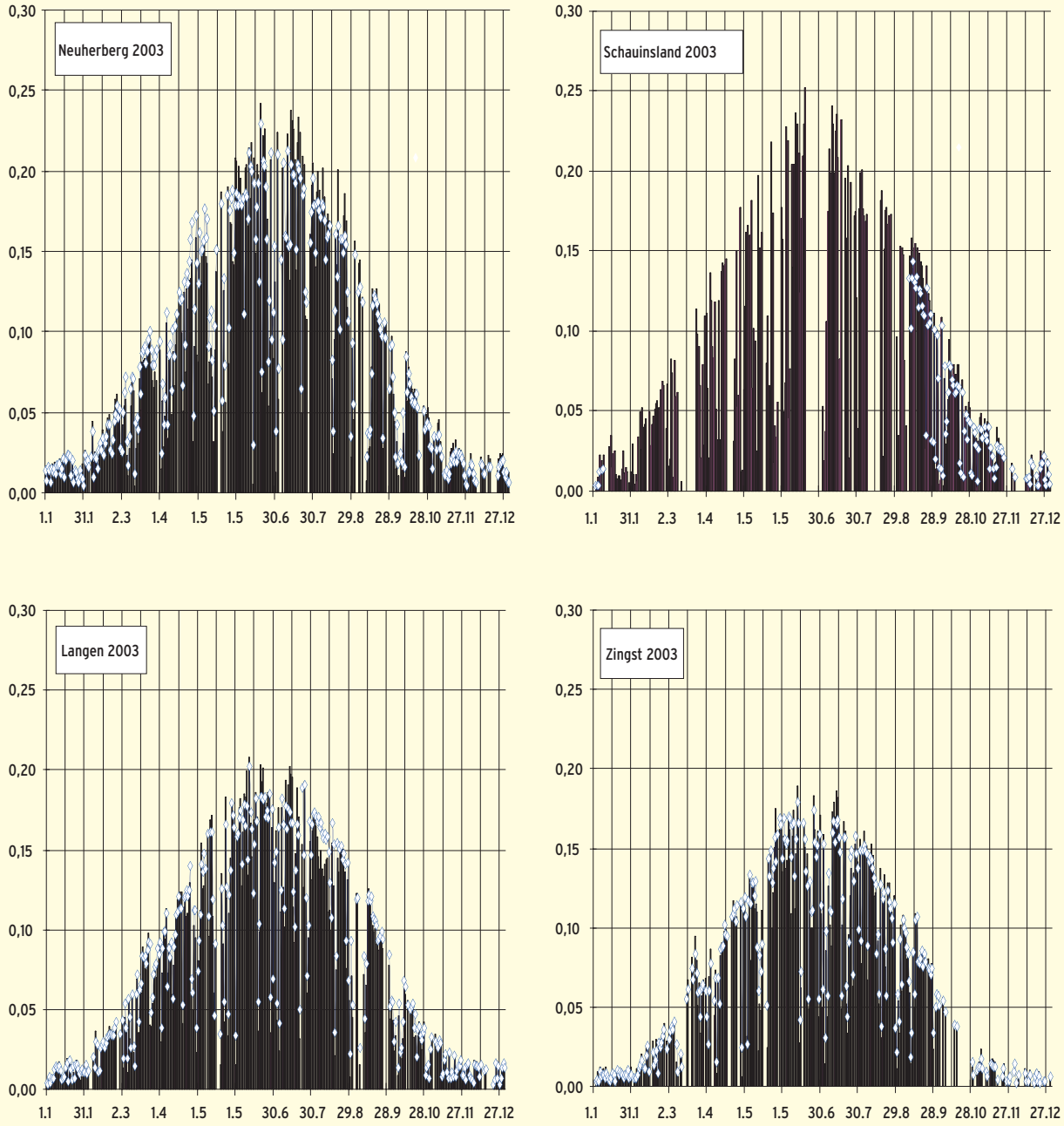
Bei verminderten Ozonwerten können vor allem in den höchsten Lagen der süddeutschen Mittelgebirge und in den Alpen höhere Werte erreicht werden. Wesentlich häufiger als wolkenlose Tage sind Situationen mit regional sehr unterschiedlichem Bedeckungsgrad. Dieser Parameter ist besonders variabel und kann die UV-Strahlung um bis zu 80 % reduzieren. Der Einfluss der Lufttrübung auf die UV-Strahlung ist dagegen vergleichsweise gering.

Wie hoch die tatsächliche Exposition im Vergleich zur terrestrischen UV-Strahlung ist, hängt einerseits von der Art der gewählten Schutzmaßnahmen ab, andererseits davon, welche Aktivität das Individuum im Freien gerade ausübt. Beim Sonnenbad ist die UV-Exposition natürlicherweise maximal, bei Bewegung im Freien dagegen reduziert. Aber auch die Haut selber beeinflusst das Eindringvermögen der Strahlung. Hornschichtverdickung („Lichtschwiele“) und Pigmentierung („Bräunung“) können in gewissen Grenzen gegenüber höherer Strahlung schützen. Unterschiedliche Hauttypen und das Alter der Haut beeinflussen ebenfalls die UV-Empfindlichkeit.

Um das Bewusstsein der Öffentlichkeit gegenüber den Risiken der UV-Bestrahlung zu schärfen und um langfristig das Verhalten der Bevölkerung in Richtung einer verbesserten Strahlenschutzvorsorge zu lenken, werden schon seit längerer Zeit u.a. vom Bundesamt für Strahlenschutz UV-Vorhersagen und aktuelle Messwerte veröffentlicht.

Vor allem infolge eines geänderten Freizeit- und Sozialverhaltens steigt die Hautkrebsinzidenz deutlich. Dabei hängt das individuelle Risiko, an einem Hautkrebs zu erkranken, hauptsächlich von den persönlichen Gewohnheiten bezüglich der Sonnenexposition ab. Bei Basal- und Stachelzellkarzinomen gibt es einen direkten Zusammenhang zwischen solarer UV-Exposition und Krebsentstehung. Die Inzidenz für Basalzellkarzinome steigt. In Deutschland werden zurzeit Neuerkrankungen bei ca. 60 Frauen und bei ca. 90 Männern pro 100 000 Einwohner pro Jahr registriert. Die Sterblichkeitsrate liegt bei <1 %. Maligne Melanome (MM) treten deutlich weniger häufig auf, sind aber die hauptsächliche Todesursache durch Hautkrebs und stellen ein bedeutendes Problem des Gesundheitswesens für weiße Bevölkerungsgruppen dar. Das Risiko, am MM zu erkranken, korreliert mit genetischen und persönlichen Eigenschaften, aber auch mit der Sonnenstrahlenexposition. Faktoren wie Anzahl von Naevi und blaue Augen sind ein hoher Risikofaktor für die Ausbildung eines MM, aber auch häufige akute UV-Exposition in der Kindheit und Jugend führen zu einem

Abb. IV 2.1-2: *Jahresverlauf der gemessenen (schwarze Balken) und modellierten (sternförmige Punkte) erythemgewichteten Bestrahlungsstärke (290-400 nm) jeweils um 11 Uhr UTC für München (Neuherberg), Schauinsland (Feldberg), Langen (Frankfurt/M.) und Zingst (Ostseeküste)*



Quelle: *Bundesamt für Strahlenschutz 2004 a*

erhöhten Risiko von Hautkrebs, besonders von möglicherweise tödlichem MM. Die Melanominzidenz ist steigend. Zurzeit werden bei Frauen und Männern ca. 8 bis 10 Neuerkrankungen pro 100 000 Einwohnern pro Jahr registriert. Etwa 20 % der Erkrankten versterben, die Rückfallrate (Metastasenbildung) liegt bei 20–30 %.

[1] UTC: Coordinated Universal Time (Koordinierte Weltzeit), entspricht etwa der mittleren Sonnenzeit am Meridian durch Greenwich. In Deutschland gilt UTC plus 1 Stunde.

[2] Tageshöchstwert der „sonnenbrandwirksamen" UV-Strahlung (25 mW/m^3 entsprechen einem UV-Index von 1).

IV 2.2 Abbau der stratosphärischen Ozonschicht

90 % des gesamten atmosphärischen Ozons befinden sich in der Ozonschicht der Stratosphäre in einer Höhe von ca. 15 bis 35 km. Im ungestörten Zustand besteht ein Gleichgewicht zwischen Ozonbildung und –abbau. Die Ozonbildung erfolgt ausschließlich durch Photolyse von molekularem Sauer-

stoff durch kurzwellige UV-C-Strahlung, der Abbau durch verschiedene Prozesse wie Photolyse durch längerwellige UV-Strahlung und katalytisch verlaufende Abbaureaktionen mit bestimmten chlor-, brom-, stickstoff- und wasserstoffhaltigen Verbindungen. Durch die Freisetzung langlebiger Chlor- und Bromverbindungen, besonders von FCKW und Halonen, ist die Konzentration der ozonabbauenden Stoffe angewachsen, was zu einer Herabsetzung des Ozongehaltes in der Stratosphäre geführt hat (Tab. IV 2.2-1).

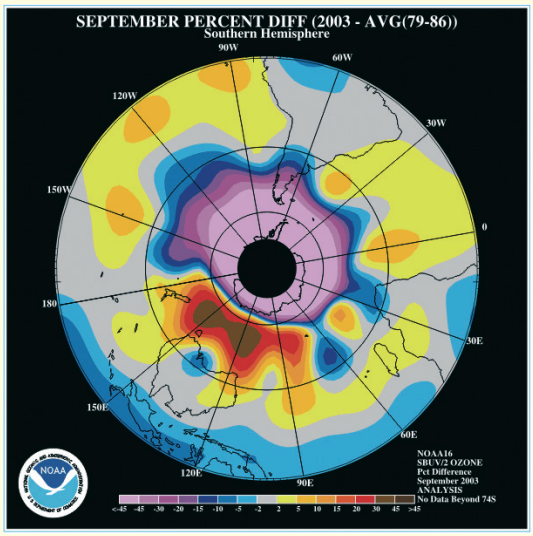
Der Ozonabbau erfolgt räumlich und zeitlich nicht gleichmäßig. Am stärksten ist er in den polaren Regionen und dort während der Monate September bis Dezember am Südpol („antarktisches Ozonloch“) (Abb. IV 2.2-1 und Abb. IV 2.2-2). Über Mitteleuropa beträgt der Abbau der Ozonschicht über die letzten 35 Jahre etwa 7 %, wobei die letzten Jahre keine Abnahme mehr zeigen (Abb. IV 2.2-3). Der äquatoriale Bereich ist kaum betroffen.

Das antarktische Ozonloch bildet sich aus, weil infolge der geografischen Symmetrie sich im antarktischen Winter ein Wirbel bildet, in dem die Temperaturen auf unter – 80 °C sinken. Unter diesen Bedingungen bilden sich polare stratosphärische Wolken, an deren Partikel sich Chlor- und Bromverbindungen anlagern und mit Einsetzen des Frühjahres unter Lichteinfluss sehr effizient das stratosphärische Ozon zerstören. Die Entwicklung des Ozonloches ist aus der Abb. IV 2.2-4 ersichtlich.

Als Folge des Montrealer Protokolls über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen, und seiner Fortschreibung ist weltweit die Produktion und Verwendung von FCKW und Halonen drastisch zurückgegangen. In der EU ist sie, bis auf wenige Ausnahmen, seit 1995 untersagt. Hierdurch sind die Voraussetzungen für einen Konzentrationsrückgang von ozonschichtabbauenden Substanzen und die allmähliche Erholung der Ozonschicht geschaffen worden (Abb. IV 2.2-5).

Die Erholung der Ozonschicht und das Füllen des Ozonloches im Verlauf der kommenden Jahrzehnte werden allerdings dadurch verzögert, dass der die Troposphäre erwärmende Treibhauseffekt sich um-

Abb. IV 2.2-1: *Verteilung des Gesamtozons unter den Bedingungen des Ozonloches im September 2003*



Abweichung der im September 2003 gemessenen Werte des Gesamtozongehaltes in der Stratosphäre über der Südhemisphäre vom langjährigen Septembermittel 1979-1986 in Prozent. Gebiete, in denen sich die Werte vom September 2003 annähernd mit denen des langjährigen Mittels decken, sind grau gefärbt. Die Südpolarregion zeigt eine Abweichung von mehr als – 45 %.

Quelle: *US National Oceanic and Atmospheric Administration 2003*

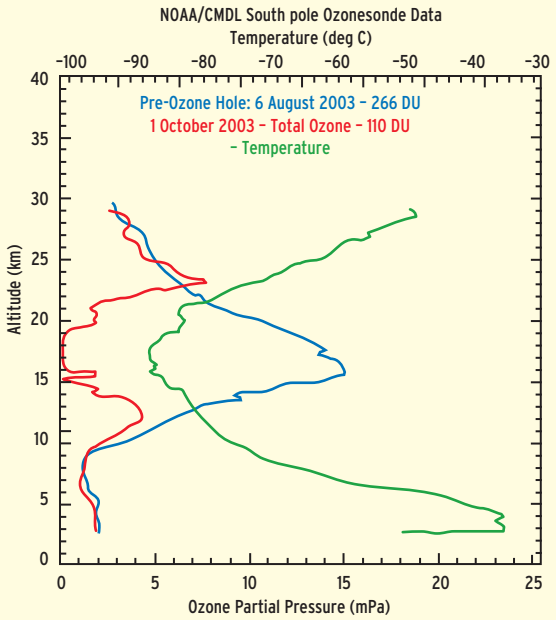
Tab. IV 2.2-1: *Wichtige Daten ausgewählter ozonschichtabbauender Gase*

Gase	Hintergrundkonzentration (2000)	Veränderung	Atmosphärische Verweilzeit	Ozonzerstörungspotenzial (aus Modellen abgeleitet)	Globales Erwärmungspotenzial [1]
	ppbv	% pro Jahr	Jahre		
FCKW-11	0,262	–0,5	45	1	4 680
FCKW-12	0,53	0,4	100	0,9	10 720
FCKW-113	0,082	–0,1	85	0,9	2 700
FCKW-114	–	–0,4	300	1,0	8 780
CCl4	0,1	–1,0	26	1,1	437
CH3–CCl3	0,045	–2,0	5,0	0,12	45
CH3 Cl	0,54	–	1,3	0,02	5
H-FCKW-22	0,142	3,8	12,0	0,05	1 780
H-FCKW-141b	0,013	15	9,3	0,1	222
H-FCKW-142b	0,08	12	18,5	0,05	709
CH3 Br	0,009–0,008	–	0,7	0,4	5
H-1211	0,004	3,0	16	5	978
H-1301	0,003	2,5	65	12	2 780

[1] pro Masseneinheit und für den 100-Jahreszeitraum

Quelle: *World Meteorological Organization 2002*

Abb. IV 2.2-2: *Vertikalverteilung des Ozons unter den Bedingungen des Ozonloches (1. Oktober 2003)*



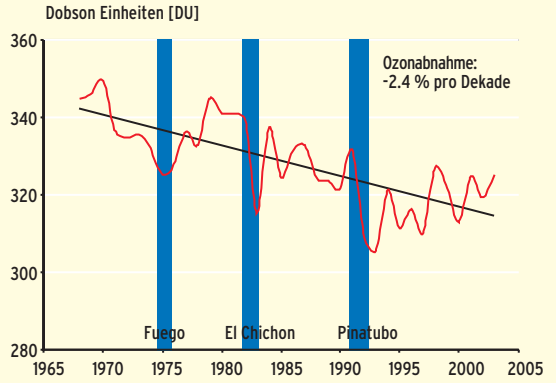
Quelle: *US National Oceanic and Atmospheric Administration 2003 a*

gekehrt auf die Stratosphäre abkühlend auswirkt. In der Vergangenheit wurde eine Abkühlung von 0,6 °C pro Dekade festgestellt, wozu die Ozonabnahme selbst einen Beitrag liefert. Die auch für die Zukunft weiter zu erwartende Abkühlung begünstigt die Wolkenbildung, die ihrerseits die Ozonzerstörung fördert.

UV-B-Strahlung an der Erdoberfläche

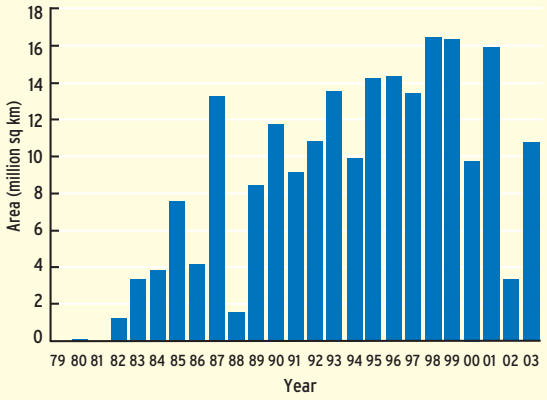
Die Ozonschicht der Erdatmosphäre absorbiert einen großen Teil der ultravioletten (UV-B) Strahlung der Sonne. Der Abbau von Ozon in der Ozonschicht reduziert diese absorbierende Wirkung, so dass mit einer Zunahme der für die Gesundheit des Menschen sowie für terrestrische und aquatische Ökosysteme schädlichen UV-Strahlung zu rechnen ist.

Abb. IV 2.2-3: *Ozonschichtdicke am Hohenpeißenberg mit Episoden, in denen der Aerosolgehalt in der unteren Stratosphäre nach Vulkanausbrüchen erhöht war*



Quelle: *Deutscher Wetterdienst 2004*

Abb. IV 2.2-4: *Zeitliche Entwicklung der Größe des Ozonloches (Fläche < 220 DU)*

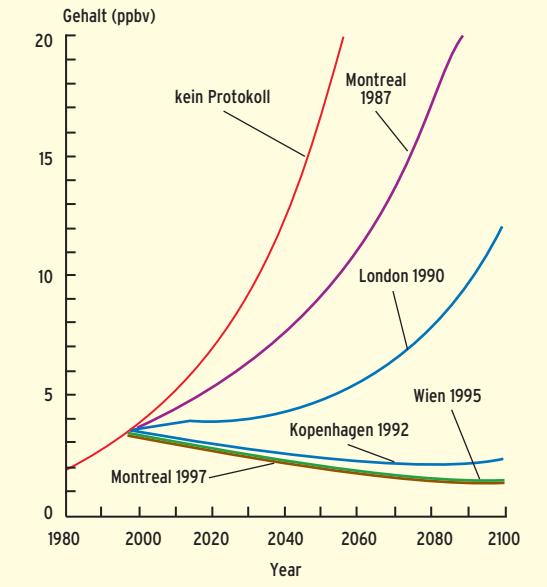


Durchschnittliche Ausdehnung des Ozonlochs über der Antarktis (Gesamtozon < 220 DU) zwischen dem 1. Oktober und dem 30. November, ermittelt durch spektrometrische (SBUV) Messungen mit Nimbus-7 und NOAA-Satelliten im polaren Orbit

Quelle: *US National Oceanic and Atmospheric Administration 2003 b*

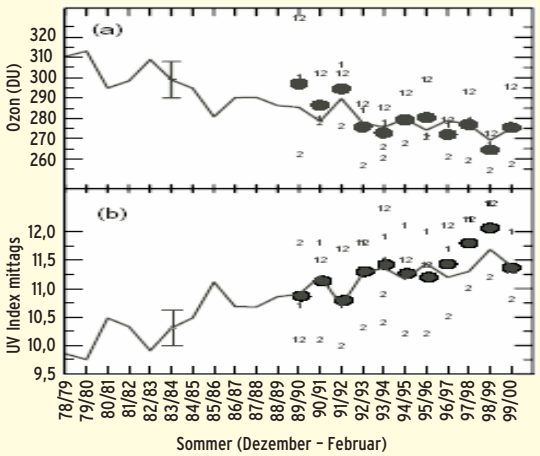
Der gegenläufige Gang von Ozonschichtdicke und UV-Strahlungsintensität ist am besten bei Episoden mit klarem Himmel zu verzeichnen. In der Abb. IV 2.2-6 sind die Verläufe von Gesamtozon und UV-Index im Sommerhalbjahr für den Ort Lauder in Neuseeland beispielhaft wiedergegeben. Allerdings hat sich dieser Trend in den letzten Jahren nicht mehr fortgesetzt.

Abb. IV 2.2-5: *Einfluss der internationalen Abkommen auf die Konzentration der ozonschichtzerstörenden Substanzen Chlor und Brom in der Stratosphäre*



Quelle: *World Meteorological Organization 1998*

Abb. IV 2.2-6: *Trend mittlerer Gesamtozongehalte und UV- Index zur Mittagszeit in Lauder (Neuseeland)*



Die Trendlinie in (a) zeigt gemessene Ozonwerte während der Sommerhalbjahre seit 1978/79. Die Symbole markieren die Messwerte für Ozon während der Sommerhalbjahre seit 1989/1990. Darüber hinaus werden die Mittel der Messwerte jedes Monats durch Angabe der Monatsnummer angezeigt. Die Trendlinie in (b) zeigt die bei klarem Himmel zu erwartenden UV-Werte. Die Symbole zeigen Spitzenwerte des UV-Index an. Mit der Monatsnummer werden die Mittelwerte der Messungen im jeweiligen Monat angezeigt. In die Abbildungen sind jeweils die Fehlergrenzen (Standardabweichung) als Referenz eingetragen.
Die angezeigten Werte beruhen auf Spektralmessungen der UV-Strahlung.

Quelle: *World Meteorological Organization 2002 a*

Da aber auch weitere Faktoren wie Bewölkungsgrad, Aerosolgehalt und Albedo (Reflektion) sich auf die UV-Strahlung auswirken, ist die Abhängigkeit bei kontinuierlichen Zeitreihen weniger klar ausgeprägt. Die Länge der Zeitreihen mit spektral aufgelösten UV-Messungen, die u. a. im Hinblick auf die Wirkungen wichtig sind, reicht noch nicht aus, um signifikante Trends aufzuweisen.

Diese Komplikation zeigt sich beim Vergleich der aus der UV-B-Schichtdicke berechneten und den an der Erdoberfläche gemessenen UV-B-Trends.

Mit Hilfe von Strahlungstransfermodellen kann bei bekanntem Gesamtozongehalt und unter bestimmten Annahmen die bodennahe solare UV-Strahlung geschätzt werden. Die seit 1968 am Meteorologischen Observatorium Hohenpeißenberg durchgeführten Modellrechnungen anhand der über einen Zeitraum von 35 Jahren gemessenen Ozonsäulen (Monatsmittel) ergeben für Tage mit klarem Himmel die in der Tab. IV 2.2-2 dargestellten Werte für die wellenlängen- und sonnenstandsabhängige Zunahme der UV-Strahlung.

Aufgrund der Variabilität der Ozonschichtdicke im Verlauf des Jahres ergeben sich für verschiedene Monate unterschiedliche Trends. Die in den letzten Jahren am Hohenpeißenberg festgestellte Stagnation der Ozonschichtdichte verringert den Trend der UV-Zunahme.

Tab. IV 2.2-2: *Berechnete jährliche Veränderungen der UV-Strahlungsintensität 1986–2003 für verschiedene Monate und Wellenlängen (mW/m²/nm bei 40° ZD)*

Wellenlänge	Jährliche Veränderung (%)		
	April	Juni	August
300 nm	1,8	1,2	0,7
305 nm	0,8	0,5	0,3
310 nm	0,4	0,2	0,2
Wellenlänge	**Gesamtänderung 1968–2003 (%)**		
	April	**Juni**	**August**
300 nm	64	40	24
305 nm	29	18	12
310 nm	14	8	6

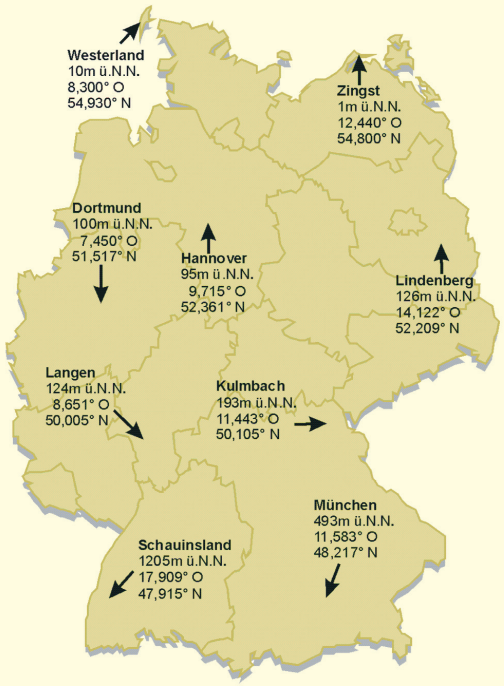
Quelle: *Deutscher Wetterdienst 2004*

In Deutschland wird die solare UV-B-Bestrahlung seit 1994 von Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) und Umweltbundesamt (UBA) an vier repräsentativen Standorten gemessen. Weitere Bundes- und Ländereinrichtungen, die in den letzten Jahren mit vergleichbarer Gerätetechnik und Qualitätssicherung an zusätzlichen Standorten mit dem Messbetrieb begonnen haben, stehen in enger Assoziation mit dem UV-Messnetz von BfS und UBA (Abb. IV 2.2-7).

Wie ersichtlich, ist im Zeitraum 1995 bis 2004 bei den vier Messstellen kein signifikanter UV-Trend erkennbar (Abb. IV 2.2-8).

Während der Bedingungen des Ozonloches am Südpol tritt die stärkste UV-Strahlungsintensität mit zeit-

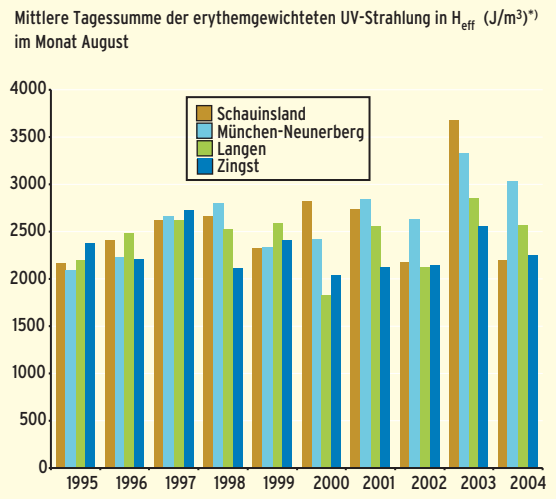
Abb. IV 2.2-7: *Gemeinsames UV-Messnetz des BfS und des UBA*



Quelle: *Bundesamt für Strahlenschutz, Umweltbundesamt 2005*

licher Verzögerung gegenüber dem UV-Minimum auf. Das Ozonloch ist dann noch immer vorhanden, der Sonnenstand ist aber höher als während des UV-Minimums.

Abb. IV 2.2-8: *Entwicklung der UV-Exposition im solaren UV-Messnetz des Bundesamtes für Strahlenschutz und des Umweltbundesamtes*



*) Bei einer Bestrahlung von H_{eff} = 250 J/m² kann bei einem Menschen (Hauttyp II) mit nicht vorgebräunter Haut ein Sonnenbrand hervorgerufen werden.

Quelle: *Bundesamt für Strahlenschutz 2005*

IV 2.3 Verwendung bestimmter ozonschichtschädigender und klimawirksamer Stoffe in Deutschland

Im Jahr 2003 wurden 38 742 Tonnen (t) ozonschichtschädigende und klimawirksame Stoffe verwendet. Ozonschichtschädigende Stoffe dienten überwiegend als Ausgangsstoffe zur Herstellung anderer chemischer Erzeugnisse (76,7 %). Definitionsgemäß werden diese im weiteren Verarbeitungsprozess vollständig vernichtet oder umgewandelt.

Rechnet man die Ausgangsstoffe (29 719 t) von der Gesamtmenge ab, verbleiben 9 023 t potenziell emissionsrelevante Stoffe. Dies ist ein leichter Rückgang von 3,4 % gegenüber 2002. Hauptsächlicher Einsatzbereich (97,7%) sind Kältemittel für Kühl-, Gefrier- und Klimaanlagen und Treibmittel für Aerosole sowie Kunst- und Schaumstoffe. Da sie sich überwiegend in geschlossenen Systemen befinden, tritt eine Ozonschichtschädigung und Klimawirksamkeit erst bei einer möglichen Freisetzung auf, weshalb diese Stoffe als potenziell emissionsrelevant bezeichnet werden.

Um das Gefährdungspotenzial darzustellen, rechnet man die metrischen Tonnen in ODP-Werten (Ozone Depletion Potential) oder in GWP-Werten (Global Warming Potential) um. Im Jahr 2003 wurden danach 305 ODP-gewichtete Tonnen verwendet, gegenüber 622 ODP-gewichteten Tonnen im Jahr 2002. Bei einer möglichen Freisetzung dieser Stoffe im Jahr 2003 hätte sich damit gegenüber dem Vorjahr nahezu eine Halbierung ihrer ozonschichtschädigenden Wirkung ergeben. Die Klimawirksamkeit drückt man in GWP-gewichteten Tonnen aus. 2003 wurden demnach 15 761 Tsd. Tonnen gegenüber 21 599 Tsd. Tonnen im Jahr 2000 an GWP-gewichteten Tonnen verwendet.

Dass die Mengen sowohl in ODP-gewichteten Tonnen als auch in GWP-gewichteten Tonnen seit 2000 rückläufig sind, liegt am verstärkten Einsatz von Ersatzstoffen und Blends, die kein oder ein wesentlich geringeres Ozonabbaupotenzial und zumeist auch weniger klimawirksam sind. So ging zum Beispiel der ozonschichtschädigende Stoff R 12 (Dichlordifluormethan) bei der Verwendung von Aerosolen um 91 % zurück, während der Einsatz des verwendeten Ersatzstoffes R 134 A (1,1,1,2-Tetrafluorethan) im Vergleich zum Vorjahr um 58 % stieg.

(Abb. IV 2.3-1 und Abb. IV 2.3-2 sowie die Tab. „Verwendung bestimmter ozonschichtschädigender Stoffe in metrischen Tonnen“ und Tab. „Verwendung bestimmter ozonschichtschädigender Stoffe in ODP-gewichteten Tonnen“)

Weitere Informationen zur Erhebung bestimmter ozonschichtschädigender und klimawirksamer Stoffe 1999-2003 finden Sie auf der Internetseite des Statistischen Bundesamtes unter http://www.destatis.de/basis/d/umw/umwtab7.htm.

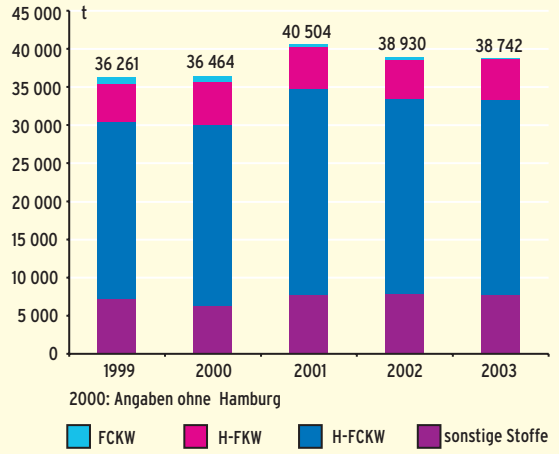
IV 2.4 Umsetzung des Montrealer Protokolls

Maßnahmen zur Reduzierung der Produktion und des Verkaufs ozonschichtabbauender Stoffe weltweit

Mit dem Montrealer Protokoll vom 16. September 1987 wurde der vollständige Verzicht auf ozonschichtschädigende Stoffe völkerrechtlich verbindlich festgelegt. Der im Montrealer Protokoll vereinbarte Zeitplan wurde entsprechend der Festlegungen der Konferenzen von London (Juni 1990), Kopenhagen (November 1992), Wien (Dezember 1995), Montreal (September 1997) und Peking (1999) mehrfach verschärft und durch weitere Maßnahmen ergänzt.

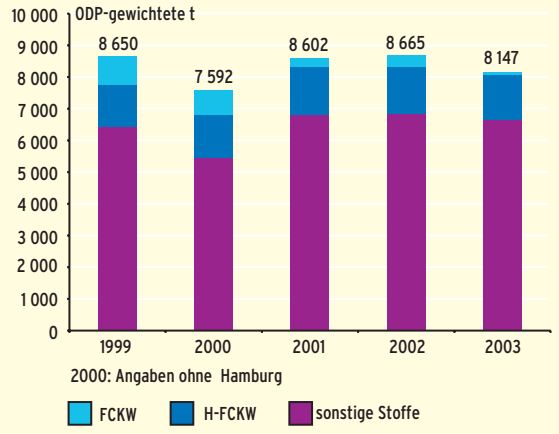
Danach verpflichteten sich die beteiligten Industriestaaten, bis zum 1. Januar 1996 die Produktion und

Abb. IV 2.3-1: *Verwendung bestimmter ozonschichtschädigender und klimawirksamer Stoffe in Deutschland in metrischen Tonnen*



Quelle: *Statistisches Bundesamt 2005*

Abb. IV 2.3-2: *Verwendung bestimmter ozonschichtschädigender und klimawirksamer Stoffe in Deutschland in ODP-gewichteten Tonnen*



Quelle: *Statistisches Bundesamt 2005*

den Verbrauch von vollhalogenierten FCKW, von Tetrachlorkohlenstoff und von 1,1,1-Trichlorethan einzustellen. Die in Artikel 5 genannten Staaten (Entwicklungsländer) haben sich zu einem etappenweisen Ausstieg bis zum Jahr 2010 verpflichtet. Nicht vom Montrealer Protokoll erfasst ist die Produktion und Verwendung ozonschichtschädigender Stoffe als Ausgangsstoffe, da diese in der weiteren Verarbeitung vollständig zerstört oder umgewandelt werden.

Es dürfen jedoch über den 1. Januar 1996 hinaus vollhalogenierte FCKW in begrenzten Mengen für den „essential use“ verwendet werden. Der Ausstieg aus den Halonen erfolgte bereits zum 1. Januar 1994 („Artikel-5-Staaten“ zum 1. Januar 2010). Auf der Konferenz in Kopenhagen wurden auch die teilhalogenierten FCKW (H-FCKW) geregelt. Darüber hinaus wurde beschlossen, dass das Montrealer Protokoll auch die teilhalogenierten Halone (H-FBKW) und Methylbromid umfassen soll. In einem ersten Schritt wurden eine Verbrauchshöchstmenge und gleichzeitig ein Ausstiegsszenario festgelegt. Dieses wurde für Methylbromid auf der Konferenz in Montreal (1997) nochmals verschärft. Als ein Ergebnis der Konferenz in Peking 1999 wurde auch Bromchlormethan aufgrund seines ozonschichtabbauenden Potenzials in das Montrealer Protokoll aufgenommen. Des Weiteren wurden Kontrollmaßnahmen sowie Maßnahmen zum Handel von H-FCKW mit Nicht-Vertragsstaaten festgelegt. 129 Staaten einigten sich auf die Bereitstellung finanzieller Mittel zur Unterstützung des Ausstiegs der „Artikel-5-Staaten“ bei der Produktion und dem Verbrauch ozonabbauender Stoffe.

Das Montrealer Protokoll sieht derzeit folgende Termine für die Reduzierung von Produktion und Verbrauch von H-FCKW und H-FBKW vor:

1. Methylbromid (Basis 1991)	
Einfrieren ab	1995
25 %	1999
50 %	2001
70 %	2003
100 %	2005 (mit Ausnahmen)
100 %	2015
2. H-FBKW	
100 %	1996
3. H-FCKW (Basis 1989)	
Einfrieren	1996
35 %	2004
65 %	2010
90 %	2015
99,5 %	2020
100 %	2030

Darüber hinaus sollen die Vertragsparteien sicherstellen, dass

- der Einsatz von H-FCKW auf Anwendungsbereiche begrenzt wird, in denen umweltverträglichere Ersatzstoffe oder -verfahren nicht zur Verfügung stehen,
- der Einsatz von H-FCKW nur in seltenen Ausnahmefällen (Schutz von Leben und Gesundheit des Menschen) außerhalb derjenigen Anwendungsbereiche erfolgt, in denen die bisher geregelten Stoffe verwendet werden,
- die Auswahl einzusetzender H-FCKW unter dem Gesichtspunkt geringst möglicher Ozonschädigungen erfolgt.

Die Produktion von H-FCKW nahm in den 90er Jahren weltweit stetig zu, da diese als Ersatzstoffe für vollhalogenierte FCKW Verwendung finden. Durch

das im Montrealer Protokoll festgeschriebene, schrittweise Produktionsverbot für die Industrieländer, beginnend ab 1. Januar 1996, kam es inzwischen zu einem Stopp dieses Trends. Die Produktion von vollhalogenierten FCKW konnte bis 2000 weltweit um 92 % (Bezugsjahr 1986) gesenkt werden.
(Tab. IV 2.4-1)

Tab. IV 2.4-1: *Produktion von FCKW, H-FCKW, Halonen und Methylbromid 1986–2000 weltweit in t (ODP-gewichtet)*

	1986	1990	1995	2000
FCKW	1 046 906	693 662	225 276	85 800
H-FCKW	–	–	27 239	31 287
Halone	142 513	120 321	38 875	1 270
Methylbromid	–	–	35 064	26 150

– Daten nicht verfügbar

Quelle: *Umweltprogramm der Vereinten Nationen 2002*

Durch das Montrealer Protokoll konnte die weltweite Produktion und Verwendung ozonschichtschädigender Stoffe erfolgreich eingedämmt werden. Die heute noch produzierten und verwendeten Mengen sind verglichen mit denen vor 20 Jahren gering. Dennoch gelangen weiterhin große Mengen in die Atmosphäre. Ursache hierfür sind unter anderem in Produkten „gespeicherte" Mengen: Ozonschichtschädigende Stoffe wurden und werden in offenen Anwendungen (z. B. als Treibgas) und in geschlossenen Kreisläufen (z. B. als Kältemittel, Feuerlöschmittel) eingesetzt. Die Art der Anwendung ist für die Höhe und den Zeitpunkt der Emissionen entscheidend. Während bei offenen Anwendungen Emission und Verwendung eines Jahres gleichzusetzen sind, kommt es in geschlossenen Anwendungen zu großen Speichermengen (Bestand). Aus diesem jährlich steigenden Bestand emittieren die Stoffe ganz oder teilweise über die gesamte Nutzungsphase und bei der Entsorgung. Bedingt durch die langjährige Verwendung ozonschichtschädigender Stoffe in vielen Bereichen hat sich weltweit ein großer Bestand aufgebaut. Ozonschichtschädigende Stoffe befinden sich besonders in Dämmstoffen, Feuerlöscheinrichtungen, Kälte- und Gefriergeräten sowie Klimaanlagen. Nach Schätzungen des Umweltprogramms der Vereinten Nationen UNEP macht dieser Bestand etwa 2,4 Mio. t (ODP-gewichtet) aus.

Neben der Beschränkung der Produktion und Verwendung dieser Stoffe – auch in den weniger entwickelten Ländern – wird daher heute auch über Maßnahmen in Bezug auf diesen Bestand nachgedacht. Diskutiert und zum Teil umgesetzt werden Maßnahmen zur Rückgewinnung, zum Recycling und zur Zerstörung ozonschichtschädigender Stoffe.

Maßnahmen zur Reduzierung der Produktion und des Verkaufs ozonschichtabbauender Stoffe in der Europäischen Union

Seit dem 1. Oktober 2000 gilt die Verordnung (EG) Nr. 2037/2000 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. Juni 2000 über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen, zuletzt geändert durch Verordnung (EG) Nr. 1804/2003 vom 22. September 2003. Die Verordnung (EG) Nr. 2037/2000 hat die bislang geltende Verordnung (EG) Nr. 3093/94 abgelöst. Die neue Verordnung legt weitergehende Beendigungssfristen für die Produktion ozonschichtabbauender Stoffe sowie Verwendungsverbote fest. Während die Produktion der meisten ozonschichtabbauenden Stoffe bereits vor Inkrafttreten der neuen Verordnung verboten war, wurde nun auch das endgültige Ende der Methylbromidproduktion festgelegt. Die Fristen für die Beendigung der H-FCKW-Produktion wurden neu festgelegt. Für die Produktion ozonabbauender Stoffe gelten in der EU folgende Fristen:

1. FCKW R 11, R 12, R 113, R 114, R 115	
100 %	1995
2. Andere vollhalogenierte FCKW	
100 %	1995
3. Halone	
100 %	1994
4. Tetrachlorkohlenstoff	
100 %	1995
5. 1.1.1-Trichlorethan	
100 %	1996
6. H-FBKW	
100 %	1996
7. Methylbromid (Basis 1991)	
Einfrieren ab	1995
25 %	1999
60 %	2001
75 %	2003
100 %	2005
8. H-FCKW (Basis 1997)	
Einfrieren ab	2000
65 %	2008
80 %	2014
85 %	2020
100 %	2026

Darüber hinaus ist geregelt, dass

- das Inverkehrbringen und die Verwendung der zuvor unter 1. bis 6. aufgeführten Stoffe verboten ist. Hiervon ausgenommen bleiben die Vernichtung innerhalb der Gemeinschaft, die Deckung des lizenzierten Bedarfs sowie bei speziellen Anwendungen der Einsatz als Ausgangs- und Verarbeitungshilfsstoffe. Die Verwendung von Halonen ist in sehr wenigen, im Anhang VII der Verord-

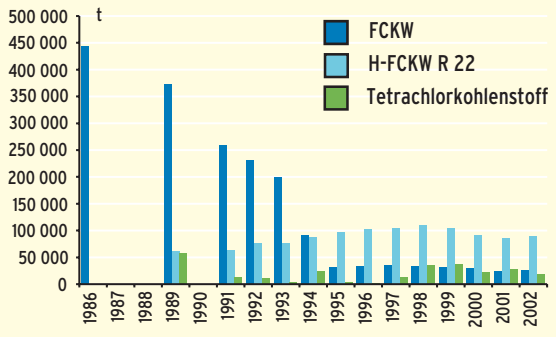
nung konkret benannten Ausnahmefällen weiterhin zugelassen. Eine vorübergehende Ausnahme kann für Implantate (Arzneimittel) und militärische Zwecke genehmigt werden,
- die durch den Hersteller oder Einführer in den Verkehr zu bringende Menge an Methylbromid und H-FCKW kontinuierlich reduziert wird und
- Produkte und Einrichtungen, die die zuvor unter 1. bis 6. aufgeführten Stoffe enthalten, nicht in den Verkehr gebracht werden dürfen, sofern Sie nach dem Inkrafttreten der Verordnung hergestellt wurden.

Die bereits in der Verordnung (EG) Nr. 3093/94 bestehenden Verwendungsverbote von H-FCKW wurden erweitert.

Daraus ergeben sich im Wesentlichen folgende Einschränkungen:

- Seit dem 1. Januar 2004 ist die Verwendung als Kältemittel in allen neuen Einrichtungen / Kälte- und Klimaanlagen, einschließlich kombinierter Klimaanlagen- und Wärmepumpensysteme verboten.
- Ab dem 1. Januar 2010 ist die Verwendung von unverarbeiteten H-FCKW zur Wartung und zum Betrieb bereits existierender Kälte- und Klimaanlagen verboten; ab dem 1. Januar 2015 ist die Verwendung von H-FCKW als Kältemittel verboten.
- Seit dem 1. Januar 2004 dürfen keine Schaumstoffe mehr unter Verwendung von H-FCKW hergestellt werden; alle bisher bestehenden Ausnahmeregelungen sind entfallen.
- Produkte und Einrichtungen, die H-FCKW enthalten, dürfen nicht mehr in den Verkehr gebracht werden. Ausgenommen sind Produkte und Einrichtungen, die vor dem Inkrafttreten des Verwendungsverbots hergestellt wurden.

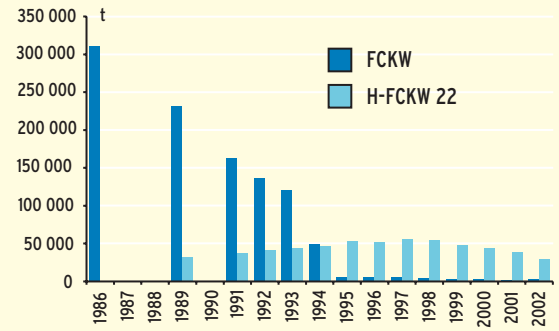
Abb. IV 2.4-1: *Produktion ausgewählter ozonschichtabbauender Stoffe in der Europäischen Union*



Tetrachlorkohlenstoff: Daten ab 1999 enthalten Produktionsmengen zum Export in „Artikel-5-Länder" für „basic domestic needs"

Quelle: *Europäische Kommission 2005*

Abb. IV 2.4-2: *Verkauf von FCKW und H-FCKW 22 in der Europäischen Union*



Quelle: *Europäische Kommission 2005*

Tab. IV 2.4-2: *Verwendung von Methylbromid in der Europäischen Union in t (ODP-gewichtet)*

	1991	1995	1996	1997	1998	1999
Methylbromid	11 530	10 557	10 907	10 644	7 056	7 532

Quelle: *Oberthür 2001*

Zusätzlich zu Produktions- und Verwendungsbeschränkungen legt die Verordnung (EG) Nr. 2037/2000 fest, dass Stoffe aus Kälte- und Klimaanlagen, Lösemittel enthaltenden Einrichtungen, Brandschutzvorrichtungen und Feuerlöschern zurückgewonnen werden müssen. Stoffe aus anderen Produkten werden zurückgewonnen, sofern dies praktikabel ist. Zurückgewonnene Stoffe werden recycelt oder zerstört.

Maßnahmen zur Einstellung von Produktion, Verkauf und Verwendung bestimmter ozonschichtschädigender und klimawirksamer Stoffe in Deutschland

Für Deutschland sind die Reduktionsziele in der FCKW-Halon-Verbots-Verordnung vom 6. Mai 1991 festgelegt. Danach ist heute das Inverkehrbringen, Verwenden sowie die Herstellung von FCKW und Halonen bis auf wenige Ausnahmen in Deutschland verboten. Von der FCKW-Halon-Verbots-Verordnung nicht erfasst ist die Produktion und Verwendung ozonschichtschädigender Stoffe als Ausgangsstoffe. Da Ausgangsstoffe im weiteren Verarbeitungsprozess vollständig vernichtet oder umgewandelt und demnach definitionsgemäß nicht emittiert werden, unterliegt ihre Produktion nicht dem Montrealer Protokoll zum Schutz der Ozonschicht, dessen nationale Umsetzung die FCKW-Halon-Verbots-Verordnung darstellt.

Die Verwendung von FCKW als Kältemittel in bestehenden Kälte- und Klimaanlagen (Altanlagen) war nach dem 1. Januar 1995 noch solange erlaubt, bis nach dem Stand der Technik Ersatzkältemittel eingesetzt werden können und diese vom UBA bekannt

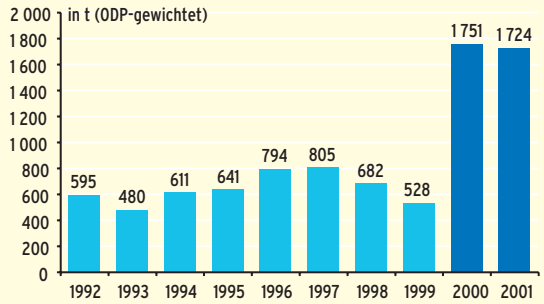
gegeben wurden. Dies erfolgte für R 12 im Dezember 1995 und für R 502 im Mai 1999. Seit dem 1. Januar 2001 ist in Deutschland die Verwendung aller FCKW-haltigen Kältemittel – unabhängig von einer Bekanntgabe von Ersatzmitteln durch das UBA – aufgrund der Verordnung (EG) Nr. 2037/2000 verboten. In Deutschland bereits seit dem 1. Januar 2000 durch die FCKW-Halon-Verbots-Verordnung verboten ist die Verwendung des H-FCKW 22 (R 22) als Kältemittel in Neuanlagen. Gleiches gilt für das Inverkehrbringen von R 22 und für Erzeugnisse, die R 22 enthalten. In Altanlagen ist das Verwenden von R 22 noch erlaubt.

Der Einsatz von FCKW in Medizinalsprays wurde dank der Entwicklung alternativer Treibmittel gesenkt. Derzeit bestehen noch wenige Ausnahmegenehmigungen („essential-use") für diesen Einsatz, Neuzulassungen für FCKW-haltige Sprays werden jedoch seit 1. Januar 2000 nicht mehr gewährt.

Der Einsatz von Halonen als Löschmittel ist zum Schutz von Leben und Gesundheit des Menschen mit Ausnahmegenehmigung weiterhin erlaubt. Die Zahl der Ausnahmegenehmigungen sowie die Gründe zur Ausstellung einer solchen Genehmigung sind seit Ende 1998 (Ablauf der ersten Genehmigungen) zurückgegangen. Aktuelle Ausnahmegenehmigungen sind bis 31. Dezember 2008 befristet.

Zusätzlich zu den gesetzlichen Regelungen hatte sich die Industrie in einigen Bereichen selbst zu einer Minderung des Einsatzes und der Emissionen ozonschichtabbauender Stoffe verpflichtet. Dies betraf z. B. die Aerosol- und die Dämmstoffindustrie. Heute haben diese Selbstverpflichtungen der Wirtschaft zwar keine Relevanz mehr, sie waren aber oft die Basis für eine im Vergleich mit den gesetzlichen Regelungen frühzeitigere Beendigung des Einsatzes ozonschichtabbauender Stoffe. (Abb. IV 2.4-3)

Abb. IV 2.4-3: *Produktion von H-FCKW in Deutschland*



2000, 2001: einschließlich Produktion für „feedstock" (Ausgangsstoffe)

Quelle: *Umweltprogramm der Vereinten Nationen 2002 a*

V LUFTREINHALTUNG

Luftqualität in Deutschland

Das Bundes-Immissionsschutzgesetz schreibt in § 44 für die Überwachung der Luftqualität regelmäßige Untersuchungen vor. Die flächendeckende Überwachung der Luftqualität obliegt den Ländern, die zur Erfüllung der gesetzlichen Vorgaben Messnetze eingerichtet haben. Darüber hinaus werden vom Umweltbundesamt (UBA) an Messstationen in ländlichen Regionen Immissionsdaten zur Untersuchung der weiträumigen Luftverunreinigung erhoben. Diese Daten sind auch die Grundlage für die Erfüllung internationaler Berichtsaufgaben.

Die Darstellung der Luftqualität in Deutschland erfolgt auf der Grundlage von Daten der 16 Messnetze der Länder und denen des Umweltbundesamtes.

Emission von Luftschadstoffen

Emissionsangaben sind Jahresangaben und folgen dem Territorialprinzip. So werden z.B. die durch den internationalen Verkehr außerhalb der Hoheitsgrenzen verursachten Emissionen nicht berücksichtigt. Darüber hinaus folgt die Emissionsberechnung dem Standortprinzip, d.h. die Emissionen werden für den Ort der Entstehung bilanziert. So erscheinen z.B. die Emissionen der Heizwerke bei den Kraft- und Fernheizwerken, obwohl u. a. der Haushaltsbereich die Wärme verwendet und somit die Emission mittelbar verursacht. Im Bereich Verkehr bleiben die Emissionen unberücksichtigt, die aus Förderung, Transport und Verarbeitung des Rohöls sowie aus der Verteilung von Kraftstoffen herrühren.

Die emissionsverursachenden Vorgänge gliedern sich in zwei Hauptgruppen, die Verbrennungsprozesse in Anlagen und Fahrzeugen sowie sonstige Prozesse, die ein breites Spektrum umfassen.

Bei den einzelnen Komponenten/Stoffgruppen überwiegt i. d. R. der Emissionsanteil der energetischen Prozesse, bei Kohlendioxid beträgt er beispielsweise ca. 98 %. Es gibt aber auch Beispiele, in denen die nichtenergetischen Prozesse überwiegen wie bei Ammoniak oder Methan mit ebenfalls etwa 98 %.

Für vergleichende Betrachtungen werden die Emissionen nach den verursachenden Emittenten untergliedert und in Anlehnung an die IPCC-Hauptstruktur [1] gruppiert (Tab. V-1).

V 1 Luftgetragene Schadstoffe

Großräumige Entwicklung der Konzentration luftgetragener Schadstoffe

In den alten Ländern war die Luftverunreinigung durch die klassischen Schadstoffe Schwefeldioxid und Schwebstaub in den 50er bis 70er Jahren deutlich höher als heutzutage. Die Abnahme der Schadstoffkonzentrationen wurde durch die Umstellung der Brennstoffe von Kohle auf Öl und Gas, durch eine verstärkte Verwendung schwefelarmen Heizöls und durch die Entschwefelung von Rauchgasen gefördert.

Die gesetzlich verankerten Luftreinhaltemaßnahmen führten ab 1986 zu einem weiteren deutlichen Absinken der Jahresmittelwerte – bei SO_2-Konzentrationen unter 25 µg/m³. In den neuen Ländern spiegeln sich die mit der wirtschaftlichen Umstrukturierung, mit der Sanierung von Industriekernbereichen und mit dem Bau fortschrittlicher, dem Stand der Technik entsprechenden Industrieanlagen einhergehenden Minderungen der SO_2- und Staubemissionen auch in den gemessenen Immissionskonzentrationen wider. So nahm z.B. die großräumige SO_2-Belastung im Jahresmittel in den industriellen und städtischen Ballungsgebieten Westsachsens, dem südlichen Sachsen-Anhalt und in Ostthüringen von 1990/91 mit etwa 150 bis 175 µg/m³ bis 2003 auf etwa 8–15 µg/m³ ab. Wegen der erreichten Reduzierungen ist Wintersmogalarm, hervorgerufen durch Schwefeldioxidemissionen, sowohl in den alten als auch in den neuen Ländern selbst in orographisch ungünstigen Kessel- und Tallagen der Mittelgebirge praktisch ausgeschlossen. Daher wurden die Wintersmogverordnungen in allen Ländern aufgehoben.

Eine Schlüsselrolle bei der Veränderung der Immissionssituation bei den Stickstoffoxiden nimmt in den alten wie auch in den neuen Ländern die Entwicklung des Kfz-Verkehrs ein. Die bei der Berechnung der Emissionen festgestellte Abnahme spiegelt sich in der Entwicklung der Immissionsbelastung erst ansatzweise wider. In den Großstädten der neuen Länder ist wegen der dort gestiegenen NO_x-Emissionen aus dem Verkehr die Tendenz zu höheren Werten und eine Annäherung an das Niveau in vergleichbaren Räumen der alten Länder zu erkennen.

Da Luftschadstoffe nicht vor Grenzen Halt machen, hat die Europäische Gemeinschaft dieses Thema be-

Tab. V-1: *Quellgruppen der Emissionen von Luftschadstoffen*

Quellgruppe	CRF-Kategorie	Emittenten
Energiewirtschaft	1.A.1	Öffentliche Elektrizitäts- und Wärmeversorgung, Fernheizwerke sowie Industriefeuerungen und Industriekraftwerke der Mineralölverarbeitung, der Gewinnung und Herstellung von festen Brennstoffen und sonstiger Energieindustrien
Verarbeitendes Gewerbe und Bauwirtschaft	1.A.2	Industriefeuerungen und Industriekraftwerke der Sektoren Gewinnung von Steinen und Erden, sonstiger Bergbau und Verarbeitendes Gewerbe insgesamt, Bauwirtschaft
Straßenverkehr	Teil von 1.A.3b	Personenkraftwagen, Busse, leichte und schwere Nutzfahrzeuge sowie motorisierte Zweiräder
Übriger Verkehr	1.A.3 übrige	Schienenverkehr, Küsten- und Binnenschifffahrt, nationaler ziviler Luftverkehr, mobile Quellen der Bauwirtschaft sofern nicht Straßenverkehr, Fischerei (Teil von 1.A.4c; ohne Hochsee) sowie Erdgasverdichterstationen
Verkehr	1.A.3.	Straßenverkehr und übriger Verkehr (ohne land- und forstwirtschaftlichen Verkehr)
Kleinverbraucher	Teil von 1.A.4., 1.A.5.	Feuerungsanlagen des Sektors Gewerbe, Handel und Dienstleistungen, land- und forstwirtschaftlicher Verkehr sowie Militär
Haushalte	Teil von 1.A.4b	Feuerungsanlagen und mobile Quellen der privaten Haushalte (ohne Straßenverkehr)
Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	1.B	Diffuse Emissionen aus der Kohle-, Erdöl- und Erdgasförderung, dem Energieumwandlungsbereich sowie den Gasverteilungsnetzen und der Verteilung von Ottokraftstoff
Industrieprozesse	2	Industrielle Produktionsprozesse, die nicht energiebedingte Emissionen verursachen (z.B. Produktemissionen)
Lösemittel und andere Produktverwendung	3	Anwendung von Lösemitteln in Industrie, Gewerbe und Haushalten; Verwendung von Lachgas zu Narkosezwecken
Landwirtschaft	4	Fermentation bei der Verdauung; Lagerung und Anwendung von Wirtschafts- und Mineraldüngern, Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden
Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft	5	Änderungen des Waldbestandes und sonstiger Biomassebestände, CO_2-Emissionen und Kohlenstofffestlegungen im Boden
Abfall und Abwasser	6	Abfalldeponie und Abwasserbehandlung
Andere	7	Schüttgutumschlag

Kategorienbildung gemäß Umweltbundesamt in Anlehnung an CRF – vorgeschriebenes Berichtsformat (Common Reporting Format) der Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

Quelle: *Umweltbundesamt 2004*

reits seit längerem aufgegriffen und verschärfte Regelungen zur Luftreinhaltung geschaffen, die neue Erkenntnisse und Konzeptionen in der Luftreinhaltung berücksichtigen. Grundlage ist die Richtlinie 96/62/EG des Rates vom 27. September 1996 über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität, deren Ziele und Prinzipien in sogenannten Tochterrichtlinien konkretisiert werden. Mit der 22. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (22. BImSchV) wurden die genannte Rahmenrichtlinie und die ersten beiden Tochterrichtlinien in deutsches Recht umgesetzt. Die Umsetzung der 3. Tochterrichtlinie erfolgte mit der 33. BImschV, die Umsetzung der 4. Tochterrichtlinie ist z. Zt. im Gesetzgebungsverfahren. Die in den Tochterrichtlinien festgelegten Grenzwerte basieren auf den Arbeiten der Weltgesundheitsorganisation (WHO) – sie liegen in der Regel deutlich unter den Werten bisheriger Regelungen. Bei den Partikeln ersetzen neue Grenzwerte für Feinstaub (PM_{10}) die bisher bestehenden Grenzwerte für Gesamtschwebstaub. Neu gegenüber den bisherigen EU-Richtlinien zur Luftqualität ist, dass die 1. Tochterrichtlinie die routinemäßig aktuelle Information der Öffentlichkeit über die Luftbelastungssituation festlegt.

Neben den Richtlinien zur Luftqualität hat die EU-Kommission erstmals eine Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen für Schwefeldioxid, Stickstoffoxide, Ammoniak und flüchtige organische Verbindungen erlassen (2001/81/EG, NEC-Richtlinie), die mit der 33. BImschV in deutsches Recht umgesetzt wurde.

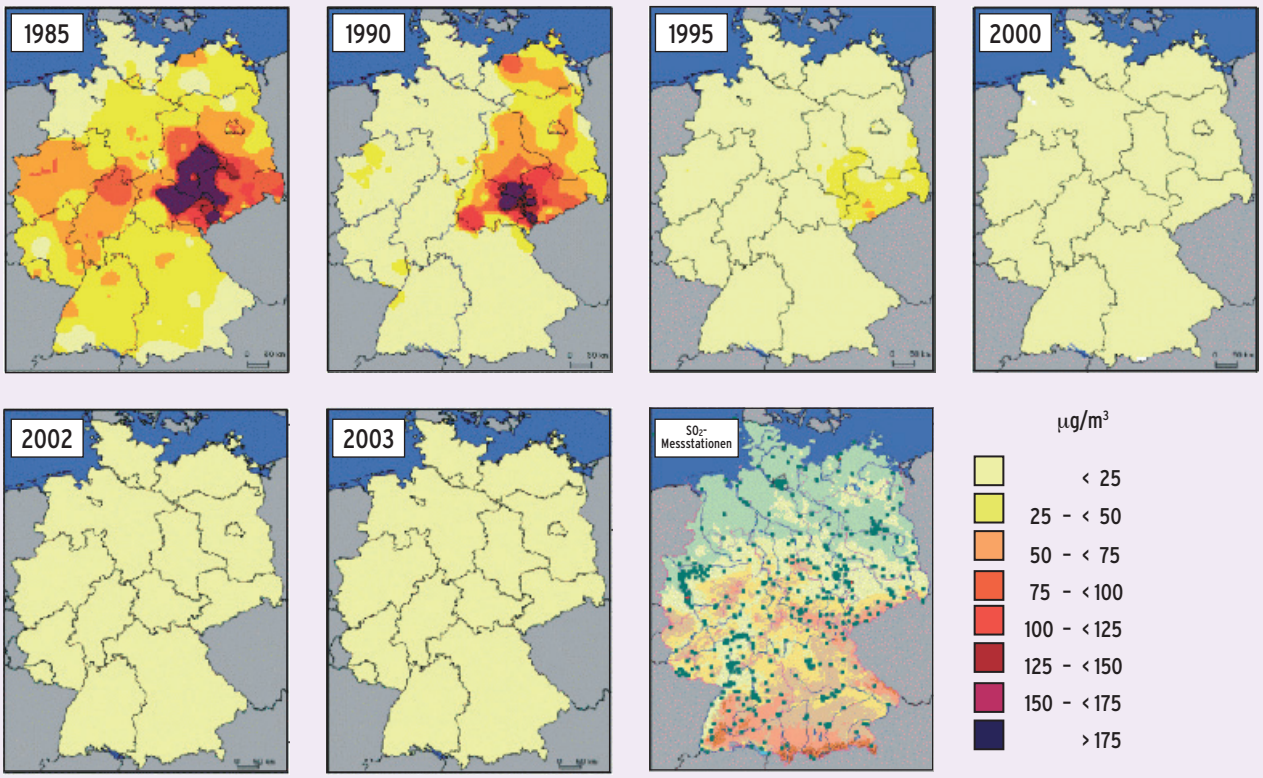
V 1.1 Schwefeldioxid (SO_2)

Entwicklung der SO_2-Konzentrationen

Die flächendeckende Darstellung und Bewertung der SO_2-Belastung basiert auf den Messergebnissen von ca. 500 Messstationen der Ländermessnetze und etwa 30 Stationen des Umweltbundesamtes.

Die Jahresmittelwerte der SO_2-Konzentrationen seit 1985 bis 2003 (Abb. V 1.1-1) zeigen deutlich den abnehmenden Trend der SO_2-Belastung. Ausgehend von einem großräumigen Konzentrationsniveau von etwa 25 bis 50 µg/m³ und regional 50 bis 75 µg/m³ (Ruhrgebiet, Rhein-Main-Gebiet, Nordhessen) in den Jahren 1985 bis 1987 erfolgte in den alten Ländern

Abb. V 1.1-1: *SO_2-Jahresmittelwerte*



Daten: Messnetze der Bundesländer und des Umweltbundesamtes
Aufgrund des verwendeten Interpolationsverfahrens ist eine kleinräumige Interpretation nicht zulässig

Quelle: *Bundesländer; Umweltbundesamt 2004*

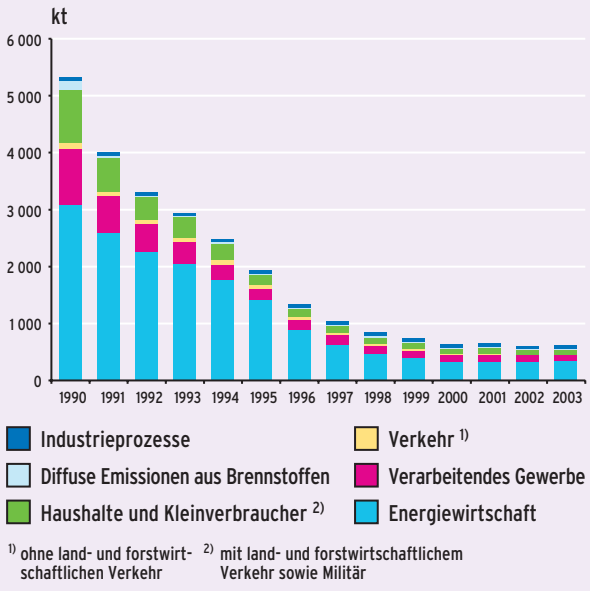
Ende der 80er und Anfang der 90er Jahre fast flächendeckend ein Rückgang auf Werte unter 25 µg/m³.

In den Jahren vor 1990 kam es im Gebiet der neuen Länder, vor allem in den industriellen Regionen Sachsens, Sachsen-Anhalts und Thüringens, noch zu extremen SO_2-Belastungen. Im Jahresmittel wurden hier zum Teil großflächig Werte über 150 µg/m³ festgestellt. Nach 1990 setzte ein deutlicher Rückgang ein, der sich von Jahr zu Jahr kontinuierlich fortsetzte. Während sich hinsichtlich des Jahresmittels in Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg bis 1994 großräumig eine ähnlich niedrige SO_2-Belastung wie in den alten Ländern eingestellt hat. So wurden in diesem Zeitraum Werte zwischen 25 und 50 µg/m³, stellenweise auch noch über 50 µg/m³, nur noch in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen angetroffen. Unterschiede in der SO_2-Belastung in den neuen und alten Ländern sind mittlerweile nicht mehr erkennbar. Der Grenzwert für den Schutz von Ökosystemen von 20 µg/m³ als Jahresmittelwert wird deutschlandweit eingehalten.

Entwicklung der SO_2-Emissionen

Von 1990 bis 2003 ist ein Rückgang der Emissionen von mehr als 4,7 Mio. t (−88 %) zu verzeichnen (Abb. V 1.1-2). Gründe hierfür sind vor allem im Bereich der neuen Länder der Vollzug der Großfeuerungsanlagenverordnung mit ihren technischen Anforderungen zur Emissionsbegrenzung, der mit Betriebsstilllegungen und der wirtschaftlichen Umstrukturierung verbundene stark rückläufige Energiebedarf

Abb. V 1.1-2: *SO_2-Emissionen nach Quellgruppen*



Quelle: *Umweltbundesamt 2005*

und der Einsatz emissionsärmerer Brennstoffe. Hauptverursacher der SO_2-Emissionen sind auch im Jahr 2003 weiterhin die stationären Feuerungsanlagen der Kraft- und Fernheizwerke im Bereich der Energiewirtschaft (55,2 %) und die Industriefeuerungen im Bereich des Verarbeitenden Gewerbes (17,8 %), obwohl gerade in diesen Bereichen die Emissionen seit 1990 um 3,6 Mio. t gemindert werden konnten.

SO_2 entsteht weit überwiegend bei Verbrennungsvorgängen durch Oxidation des im Brennstoff enthaltenen Schwefels. Die nahezu konstanten, gleichwohl aber relativ unbedeutenden prozessbedingten Emissionen treten vornehmlich in den Bereichen der industriellen Produktionsprozesse wie der Chemischen Industrie, der Metallerzeugung und dem Bereich Steine und Erden sowie der Erdöl- und Erdgasaufbereitung auf.

Die Bundesrepublik Deutschland hatte sich im Helsinki-Protokoll unter der Genfer Luftreinhaltekonvention der UN ECE verpflichtet, ihre jährlichen Schwefelemissionen bis 1993 um mindestens 30 % gegenüber dem Niveau von 1980 zu reduzieren. 1993 betrugen die SO_2-Emissionen 2 945 kt gegenüber etwa 7,5 Mio. t im Jahr 1980. Dies bedeutet einen Rückgang um 61 %. Im zweiten UN ECE-Protokoll zur Minderung der Schwefelemissionen hat sich Deutschland verpflichtet, die Emissionen bis zum Jahr 2000 auf 1 300 kt SO_2 und bis zum Jahr 2005 auf 990 kt SO_2 zu vermindern. Die Zielstellung für das Jahr 2005 konnte hierbei bereits im Jahr 1998 erfüllt werden.

Im neuen UN ECE-Protokoll, welches die Schädigungen durch Versauerung, Eutrophierung und bodennahes Ozon mindern soll (Multikomponentenprotokoll), hat sich die Bundesrepublik Deutschland verpflichtet, die SO_2-Emissionen bis zum Jahr 2010 auf 550 kt zu vermindern. Zur Erfüllung dieses Zieles sind die Emissionen des Jahres 2003 noch einmal um weitere 10 % zu verringern. Hierbei ist zu beachten, dass die Emissionen zwischen 2000 und 2003 in etwa konstant geblieben sind, so dass es zur Zielerreichung weiterer Anstrengungen bedarf.

V 1.2 Stickstoffoxide (NO_x)

Entwicklung der NO_x-Konzentration

Stickstoffoxide (NO, NO_2) werden überwiegend als Stickstoffmonoxid (NO) emittiert. NO tritt großräumig nicht in Erscheinung, da dieses Gas relativ schnell vom Luftsauerstoff und von Ozon zu NO_2 oxidiert wird. Unter dem Einfluss von UV(B)-Strahlung wird das Stickstoffdioxid in den Sommermonaten zersetzt. So findet man außerhalb der Ballungsräume in den ländlichen Gebieten Konzentrationen, die nur selten einen Wert von 30 $\mu g/m^3$ überschreiten und die abseits von verkehrsreichen Räumen unter 10 $\mu g/m^3$ liegen. In den Ballungsräumen werden – je nach Lage der Messstation – vereinzelt Jahresmittelwerte zwischen 30 und 60 $\mu g/m^3$ gemessen. In der 1. EU-Tochterrichtlinie ist für den Schutz der menschlichen Gesundheit ein Jahresgrenzwert von 40 $\mu g/m^3$ festgelegt, der ab 2010 nicht überschritten werden darf. Derzeit wird dieser Grenzwert noch nicht deutschlandweit eingehalten.

In der ehemaligen DDR wurde NO_2 nur in Ausnahmefällen registriert, so dass Messwerte von vor 1988 kaum vorliegen. Die flächendeckenden Darstellungen reichen deshalb nur bis zu diesem Jahr zurück. Bundesweit wird an etwa 450 Stationen NO_2 gemessen (Abb. V 1.2-1).

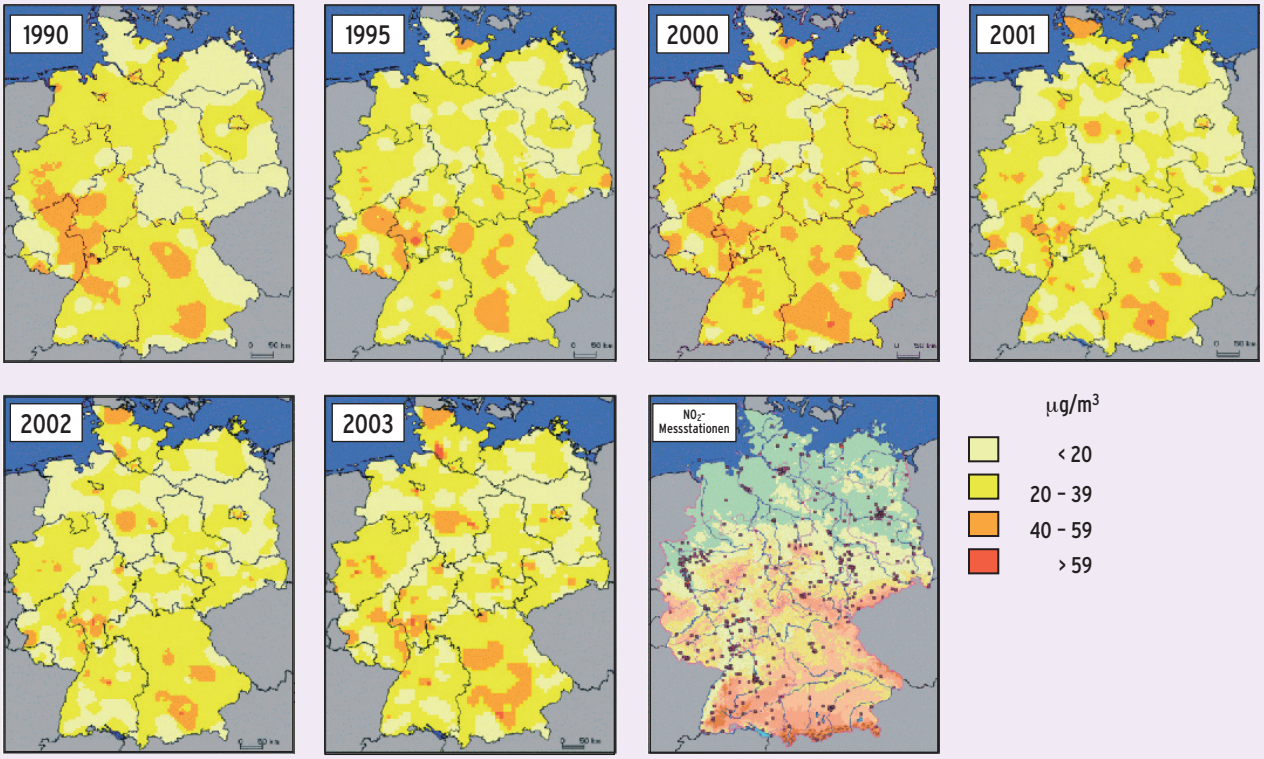
Entwicklung der NO_x-Emissionen

Emissionsangaben von Stickstoffoxiden (NO_x) werden als NO_2 berechnet. Von 1990 bis 2003 ist ein Rückgang der Emissionen um 1 418 kt (–50 %) zu verzeichnen (Abb. V 1.2-2). Dieser Rückgang erfolgte in allen Quellgruppen – mengenmäßig mit über 700 kt am deutlichsten im Bereich des Verkehrs (–49 %). Trotz dieser Minderung ist der Verkehrsbereich insgesamt mit einem Emissionsanteil von nahezu 50 % weiterhin mit Abstand der Hauptverursacher der NO_X-Emissionen. Emissionsminderungen in den anderen Bereichen resultierten aus dem Einsatz emissionsärmerer Brennstoffe, dem effizienteren Energieeinsatz sowie den Folgen der wirtschaftlichen Umstrukturierung vor allem in den neuen Bundesländern.

Stickstoffoxide entstehen nahezu ausschließlich bei Verbrennungsvorgängen in Anlagen und Motoren durch Oxidation des in Brennstoff und Verbrennungsluft enthaltenen Stickstoffes. Sie werden überwiegend als NO emittiert und anschließend atmosphärisch zu NO_2 oxidiert. Der nur noch im Promillebereich liegende prozessbedingte Anteil ist vornehmlich den Bereichen Chemie (Salpetersäureherstellung) sowie Steine und Erden zuzuordnen.

Entscheidend für das Ausmaß der Bildung von NO_X sind die thermodynamischen Verbrennungsbedingungen wie Druck, Temperatur, Verweilzeit und Luftüberschuss. Diese variieren in den Verbrennungsanlagen technisch bedingt stark. Die entstehenden NO_X können durch Nachbehandlung (Katalysatoren im Verkehrsbereich, DENOX-Anlagen bei Großfeuerungen usw.) erheblich vermindert werden. Die höchsten Emissionen je Einheit verbrauchter

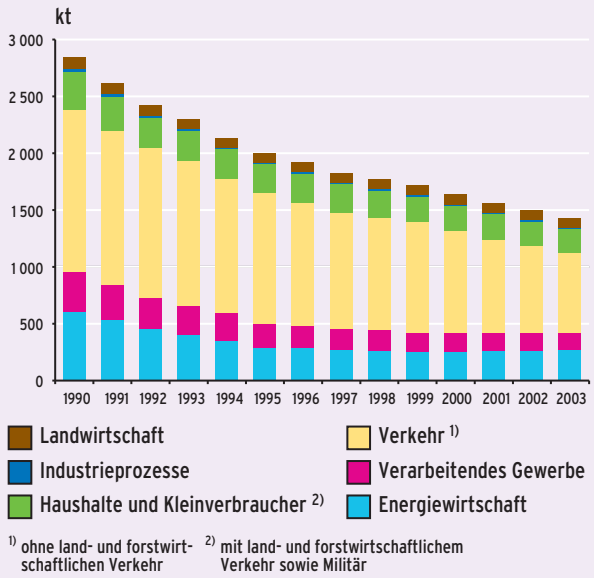
Abb. V 1.2-1: *NO_2-Jahresmittelwerte*



Daten: Messnetze der Bundesländer und des Umweltbundesamtes
Aufgrund des verwendeten Interpolationsverfahrens ist eine kleinräumige Interpretation nicht zulässig

Quelle: *Bundesländer; Umweltbundesamt 2004*

Abb. V 1.2-2: *NO_x-Emissionen nach Quellgruppen*



Quelle: *Umweltbundesamt 2005*

Energie weist der Verkehrsbereich auf, gefolgt von den Kraftwerken und Industriefeuerungen. Die niedrigsten spezifischen Emissionen werden an den Kleinfeuerungen der Haushalte festgestellt.

Innerhalb des UN ECE-Protokolls zur Verminderung der Emissionen von NO_X verpflichtete sich die Bundesrepublik Deutschland, bis 1994 die Emissionen auf das Niveau von 1987 mit 3 177 kt zurückzuführen. Allerdings ist dieser Wert nicht konsistent gegenüber den Zeitreihenangaben ab 1990, da z.B. keine Emissionen aus der Landwirtschaft enthalten sind. Über diese Verpflichtung hinaus gehend gelang es, die Emissionen in diesem Zeitraum um über 30 % auf 2 130 kt zu senken und damit die von Deutschland und 11 weiteren ECE-Ländern freiwillig eingegangene Zusatzverpflichtung zu diesem Protokoll (Reduzierung der NO_X-Emissionen bis 1998 gegenüber 1986 um 30 %) ebenfalls zu erfüllen.

Im Multikomponentenprotokoll hat sich Deutschland – wie bei SO_2 – verpflichtet, die Emissionen zu vermindern. Im Jahr 2010 dürfen 1 081 kt NO_x nicht mehr überschritten werden. Zur Erfüllung dieses Zieles sind die Emissionen von 2003 um noch weitere 24 % zu mindern.

V 1.3 Schwebstäube

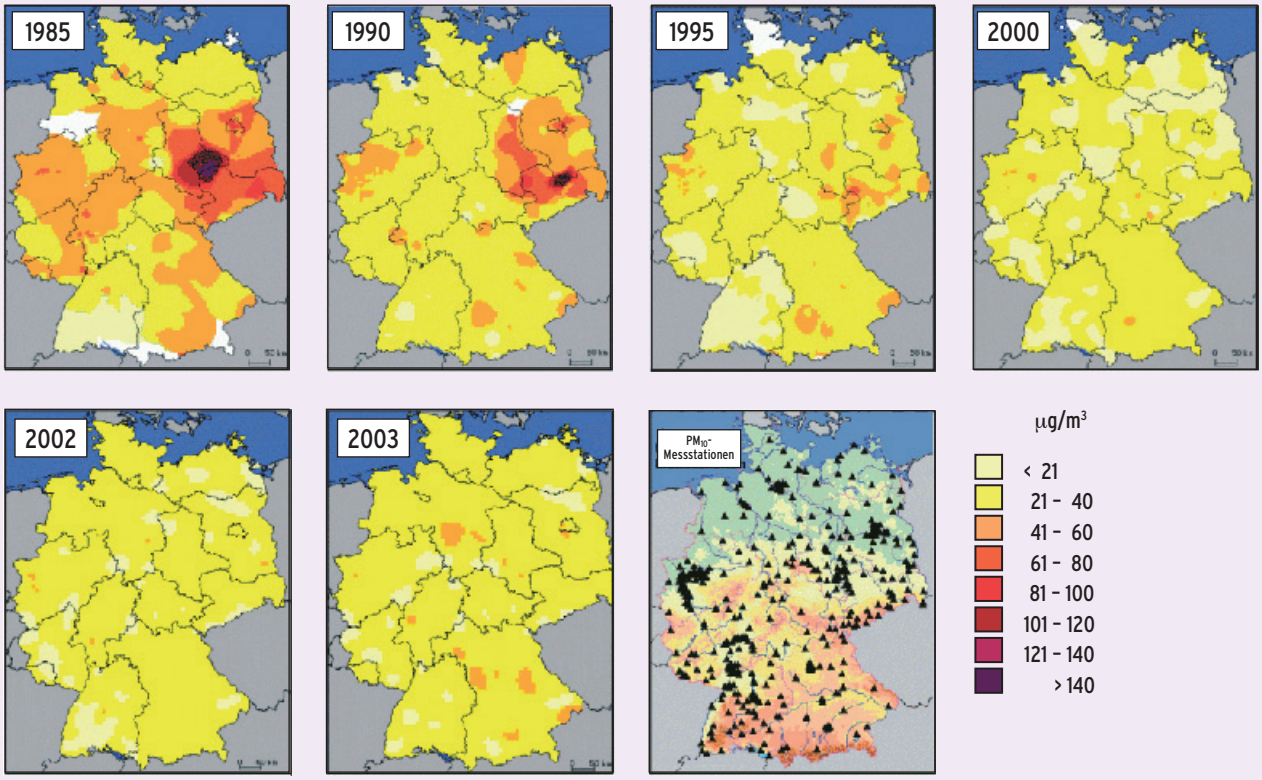
Entwicklung der Schwebstaubkonzentrationen

Die Betrachtung der Gesamtschwebstaubkonzentration ist in den Hintergrund getreten. Dafür sind die Schwebstaubkomponenten PM_{10} und $PM_{2,5}$ (PM =

particulate matter) bei der gesundheitspolitischen Diskussionen immer mehr in den Vordergrund gerückt. Dem wurde mit den in der 1. EU-Tochterrichtlinie (1999/30/EG) festgelegten Grenzwerten für PM_{10} europaweit Rechnung getragen. Als PM_{10} bzw. $PM_{2,5}$ wird dabei die Massenkonzentration aller Schwebstaubpartikel mit Durchmessern unter 10 µm bzw. 2,5 µm bezeichnet. Diese Fraktionen des Gesamtstaubes entstehen hauptsächlich bei Verbrennungsprozessen aus stationären (Industrie, Haushalte) und mobilen Quellen (Verkehr), bei Industrieprozessen wie z.B. der Zementherstellung sowie bei der Behandlung und beim Transport staubender Güter. Sie werden aber auch aus Gasen (SO_2, Ammoniak, Kohlenwasserstoffe) gebildet und haben natürliche Quellen. Wissenschaftliche Untersuchungen der Partikelverteilung im Gesamtstaub haben gezeigt, dass im Mittel 83 % des Gesamtstaubes auf PM_{10} entfallen. Mitte der 90er Jahre wurde zunächst in einzelnen Ländermessnetzen mit der Messung von PM_{10} begonnen. Seit dem Jahr 2000 wird PM_{10} deutschlandweit gemessen. Für die Jahre, in denen noch nicht ausreichend Messergebnisse für die Darstellung der bundesweiten PM_{10}-Belastung vorlagen, wurden PM_{10}-Konzentrationen für eine flächenhafte Darstellung aus den Daten der Gesamtschwebstaubkonzentration berechnet. Dieses Verfahren trifft zwar nicht die PM_{10}-Belastung in jedem Einzelfall, gibt aber plausible Anhaltspunkte für die Belastung. Im Jahr 1998 sind erstmals sowohl aus Gesamtstaub berechnete als auch gemessene PM_{10}-Werte Datengrundlage der flächenhaften Darstellung. In den Folgejahren hat der Anteil der gemessenen PM_{10}-Daten weiter zugenommen, ab dem Jahr 2001 basieren die Belastungskarten ausschließlich auf gemessenen PM_{10}-Daten (Abb. V 1.3-1).

Seit etwa 1989 ist auf dem Gebiet der neuen Länder, vor allem ab 1993/94, eine rückläufige Tendenz der Staub-Belastung, berechnet als jahresdurchschnittliche PM_{10}-Konzentration, zu erkennen. Ähnlich markante Belastungsunterschiede, wie sie bei SO_2 zwischen den alten und neuen Ländern auftraten, waren für PM_{10} nicht vorhanden. In den alten Ländern zeigt sich seit Ende der 80er und Anfang der 90er Jahre mit Werten um 50 µg/m³ die Tendenz zu niedrigeren PM_{10}-Konzentrationen. Waren gegen Ende der 80er Jahre in Thüringen, Sachsen und Sachsen-Anhalt noch PM_{10}-Konzentrationen über 100 µg/m³ (im Jahresmittel) zu verzeichnen, so lagen sie 1998 dort nur noch stellenweise im Bereich zwischen 25 und 50 µg/m³. Bundesweit treten heute großräumig

Abb. V 1.3-1: *PM_{10}-Jahresmittelwerte*



Daten: Messnetze der Bundesländer und des Umweltbundesamtes

Für 1985 bis 1998 wurden die Schwebstaubdaten (TSP) zu PM_{10}-Daten umgerechnet (Faktor 0,83). Ab 1999 basierte über die Hälfte aller PM_{10}-Daten aus Messungen. Der Rest wurde wie zuvor umgerechnet.

Aufgrund des verwendeten Interpolationsverfahrens ist eine kleinräumige Interpretation nicht zulässig

Quelle: *Bundesländer; Umweltbundesamt 2004*

PM_{10}-Jahresmittelwerte zwischen 25 und 35 µg/m³ auf. Vor allem an vom Verkehr beeinflussten Stationen wurden im Jahr 2003 Jahresmittelwerte bis 50 µg/m³ beobachtet.

Die Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft (22. BImSchV) legt für PM_{10} einen Grenzwert von 40 µg/m³ als Jahresmittelwert fest, der ab 2005 einzuhalten ist. Momentan wird der Grenzwert noch nicht bundesweit eingehalten. Als Folge der drastischen Reduzierung der Gesamt- und Feinstaubemissionen in Deutschland im letzten Jahrzehnt ist zu erwarten, dass die Staubkonzentrationen in der Luft nur noch langsam abnehmen werden, da sie in zunehmendem Maße durch die Beiträge des Ferntransportes und der natürlichen Emissionen bestimmt werden. Weitere Maßnahmen zur Senkung der PM_{10}-Emissionen sind daher erforderlich.

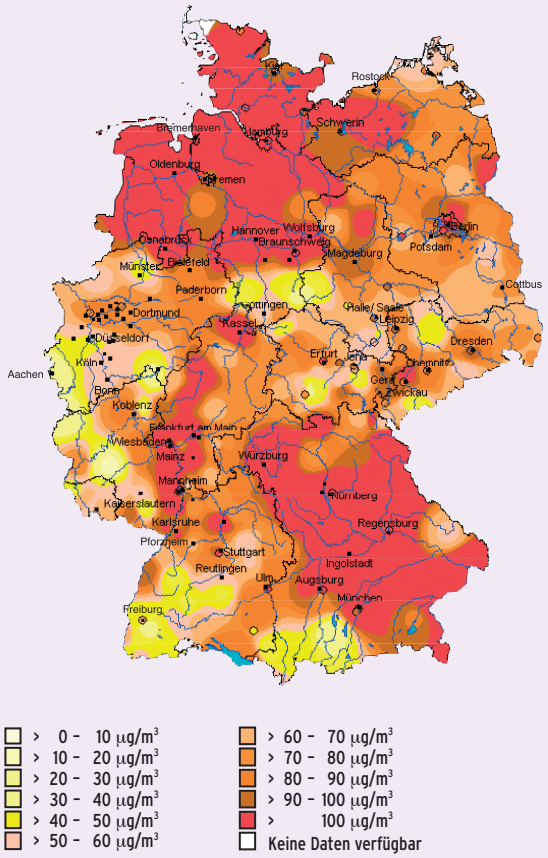
Nach der 22. BImSchV darf ab 2005 eine PM_{10}-Konzentration von 50 µg/m³ im Tagesmittel nur an höchstens 35 Tagen im Jahr überschritten werden. Besonders in trockenen Wintern, aber auch in heißen Sommern gibt es immer wieder Tage mit hohen PM_{10}-Konzentrationen in ganz Deutschland. An solchen Tagen kann der Wert von 50 µg/m³ nahezu deutschlandweit erheblich überschritten werden. Ein Beispiel für eine solche Belastungssituation zeigt die Abb. V 1.3-2. 65 Stationen hatten an diesem Tag 120 µg/m³ PM_{10} oder mehr gemessen. Die höchsten Werte – um 180 µg/m³ – an diesem Tag traten an verkehrsreichen Straßen auf. Nur nahezu ausschließlich an Stationen oberhalb von 1000 m Höhe lag der Wert unterhalb von 50 µg/m³.

Wie hoch die PM_{10}-Belastung in solchen Episoden ansteigen kann, hängt vor allem von den meteorologischen Bedingungen ab. Entscheidend ist dabei, wie schnell sich der Feinstaub in der Luft ausbreiten oder auch verdünnen kann. Schwachwindige Hochdruckwetterlagen im Winter führen dazu – wie früher auch beim Wintersmog – dass die Schadstoffe nicht wegtransportiert werden können und sich so in den unteren Luftschichten (bis ungefähr 1000 m) wie unter einer Glocke ansammeln. Der Wechsel zu einer Wettersituation mit stärkerem Wind bringt rasch eine deutliche Verbesserung der Luftbelastung. Die PM_{10}-Werte gehen dann deutlich zurück.

Entwicklung der Staub-Emissionen

Von 1990 bis 2003 ist ein Rückgang der Gesamtstaub-Emissionen um über 1,6 Mio. t auf nur noch 0,3 Mio. t zu verzeichnen (Abb. V 1.3-3). Diese Minderung wurde weit überwiegend durch die Emissionsentwicklung in den neuen Ländern möglich.

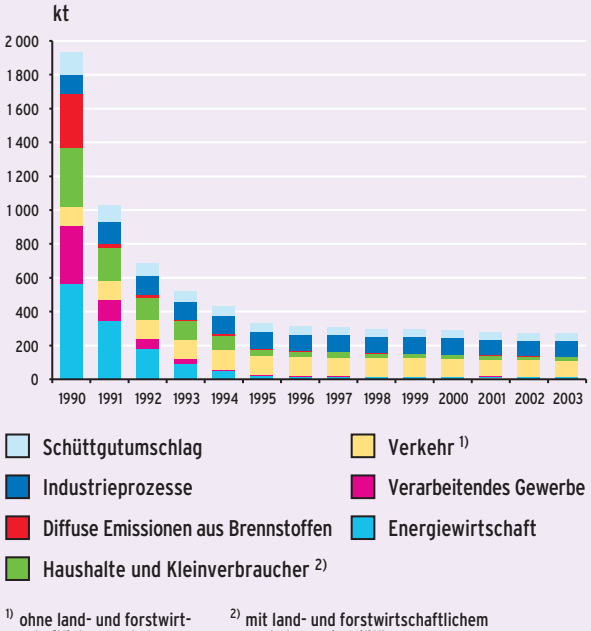
Abb. V 1.3-2: *Tagesmittelwerte der Partikelkonzentration vom 27.2.2003*



Die vom Umweltbundesamt zusammengestellten Karten und Daten zur aktuellen Immissionssituation dienen der orientierenden Information der Bevölkerung. Auf Grund der weiträumigen Betrachtung ist eine kleinräumige Interpretation nicht zulässig.

Quelle: *Bundesländer; Umweltbundesamt 2004*

Abb. V 1.3-3: *Staub-Emissionen nach Quellgruppen*



1) ohne land- und forstwirtschaftlichen Verkehr

2) mit land- und forstwirtschaftlichem Verkehr sowie Militär

Quelle: *Umweltbundesamt 2005*

Hier wurde eine Vielzahl veralteter Feuerungs- und Industrieanlagen stillgelegt sowie die vorhandenen Entstaubungsanlagen in den Kraft- und Fernheizwerken kurzfristig in ihrer Wirksamkeit wesentlich verbessert. Weiteren Einfluss hatte die Umstellung von festen auf emissionsärmere flüssige und gasförmige Brennstoffe vor allem in den kleineren Feuerungsanlagen.

In den Angaben sind derzeit die nichtverbrennungsbedingten Emissionen aus dem Verkehrsbereich noch nicht enthalten. Nach derzeitigem Kenntnisstand sind die durch den Abrieb auftretenden Emissionen durchaus relevant (Reifen ca. 70 kt pro Jahr, Straßenoberfläche mit erheblicher Feinstaubfraktion und Bremsbeläge mit fast ausschließlicher Feinstaubfraktion) und würden somit auch die anteilsmäßigen Ergebnisse bei dem bereits erzielten niedrigen Gesamtniveau erheblich verändern.

Von den bisher berücksichtigten Bereichen sind sämtliche Verbrennungsvorgänge sowie sonstige Emissionen, denen vorrangig die Produktionsprozesse in den Bereichen Eisen und Stahl sowie Steine und Erden und der Umschlag von Schüttgütern zuzurechnen sind emissionsrelevant.

Wird der Schüttgutumschlag nicht berücksichtigt, dann sind die Hauptverursacher neben dem Verkehrsbereich mit 43 % die Industrieprozesse mit 40 %. Seit Mitte der 90er Jahre tragen die Verbrennungsprozesse nur noch etwa zur Hälfte der Gesamtemissionen bei.

V 1.4 Bodennahes Ozon und Sommersmog

In den unteren Luftschichten bis zehn Kilometer Höhe (Troposphäre) gibt es einen Sockelanteil natürlich vorhandenen Ozons. Zusätzliches Ozon bildet sich durch komplexe photochemische Reaktionen von Sauerstoff und Luftverunreinigungen – vor allem flüchtigen organischen Verbindungen (VOC = volatile organic compounds) und Stickstoffoxiden (NO_X) – bei intensiver Sonneneinstrahlung. Diese Luftverunreinigungen stammen zum großen Teil aus menschlicher Tätigkeit. Ozon wird also nicht direkt emittiert und daher als sekundärer Schadstoff bezeichnet.

Beim photochemischen Smog (auch Sommersmog genannt) handelt es sich um ein Schadstoffgemisch, das in der unteren Atmosphäre aus einer Vielzahl von Vorläufersubstanzen unter dem Einfluss von Sonnenlicht entsteht. Ozon ist die Leitsubstanz des Sommersmogs, da es von der Konzentration und den Wirkungen her dominiert.

Seit dem 9. September 2003 gelten die Werte der Richtlinie 2002/3/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Februar 2002 über den Ozongehalt der Luft ersetzt. Diese neue Ozonrichtlinie wurde mit der Verordnung zur Verminderung von Sommersmog, Versauerung und Nährstoffeinträgen (33. BImSchV) in deutsches Recht umgesetzt. Die 33. BImSchV enthält Zielwerte, Langfristziele und Schwellenwerte für bodennahes Ozon:

Zielwerte für den Schutz der menschlichen Gesundheit und der Vegetation:

120 $\mu g/m^3$ über 8 Stunden, darf an maximal 25 Tagen im Kalenderjahr, gemittelt über 3 Jahre, überschritten werden

Langfristiges Ziel für den Gesundheitsschutz:
120 $\mu g/m^3$ als höchster 8-Stunden-Mittelwert eines Kalenderjahres, keine Überschreitungen

Zielwert für den Vegetationsschutz:
18 000 $\mu g/m^3 \cdot h$, gemittelt über 5 Jahre (AOT40, berechnet aus 1-Stunden-Werten Mai bis Juli)

Langfristiges Ziel für den Vegetationsschutz:
6 000 $\mu g/m^3 \cdot h$ (AOT40, berechnet aus 1-Stunden-Werten Mai bis Juli)

Alarmschwelle für den Gesundheitsschutz:
240 $\mu g/m^3$ als Mittelwert über 1 Stunde, während drei aufeinanderfolgender Stunden

Informationsschwelle für den Gesundheitsschutz:
180 $\mu g/m^3$ als Mittelwert über 1 Stunde

Da Ozon nicht aus Anlagen emittiert wird, existieren für diesen Schadstoff, anders als z.B. für Schwefeldioxid, Schwebstaub oder Stickstoffdioxid, keine Emissionswerte z. B. in der TA Luft.

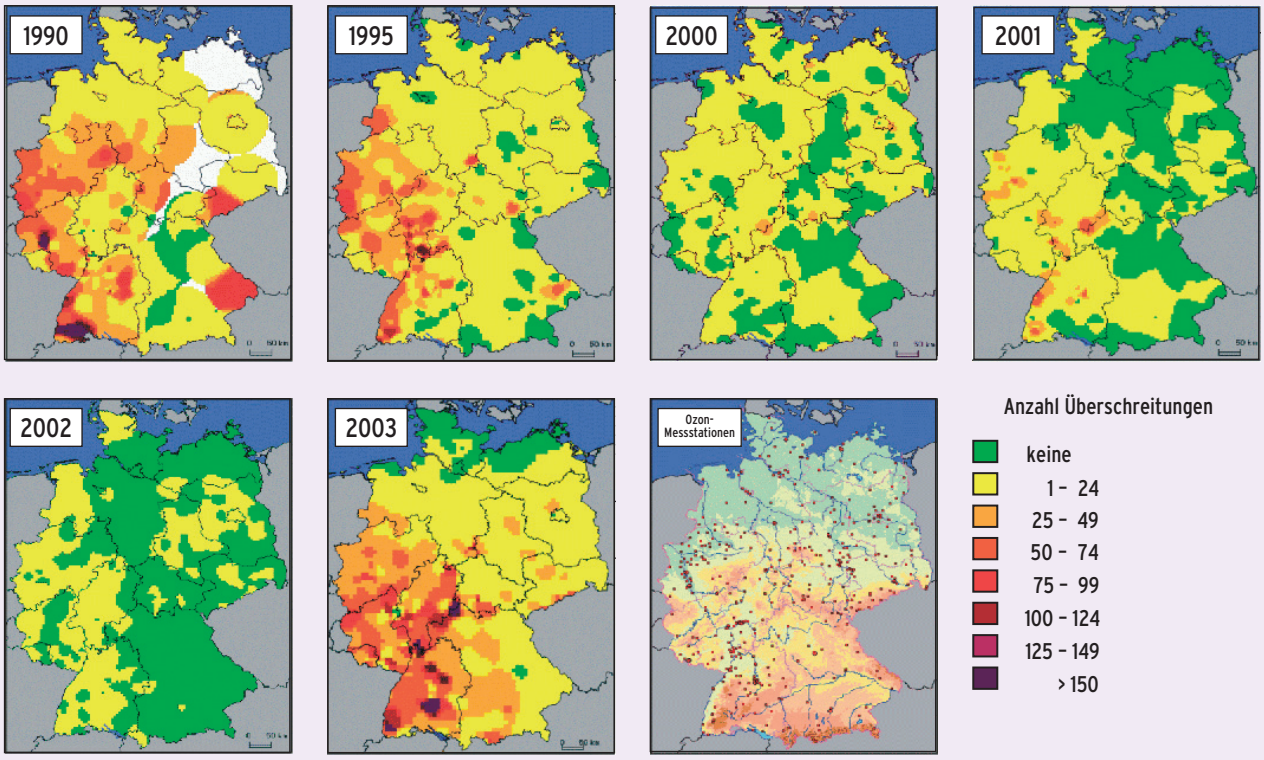
Die EU-Kommission hat jedoch eine Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen unter anderem für die Ozonvorläuferstoffe Stickstoffoxide und flüchtige organische Verbindungen erlassen (2001/81/EG, NEC-Richtlinie), die ebenfalls mit der 33. BImSchV in deutsches Recht umgesetzt wurde.

In Deutschland wurde 2003 an 340 Messstationen von Bund und Ländern die Konzentration des bodennahen Ozons überwacht (Abb. V 1.4-1 und Abb. V 1.4-2).

Jahresmittelwerte

Jahresmittelwerte der Ozonkonzentrationen (Abb. V 1.4-3) spielen bei der Bewertung der Belastung durch Sommersmog eine nachgeordnete Rolle. Den-

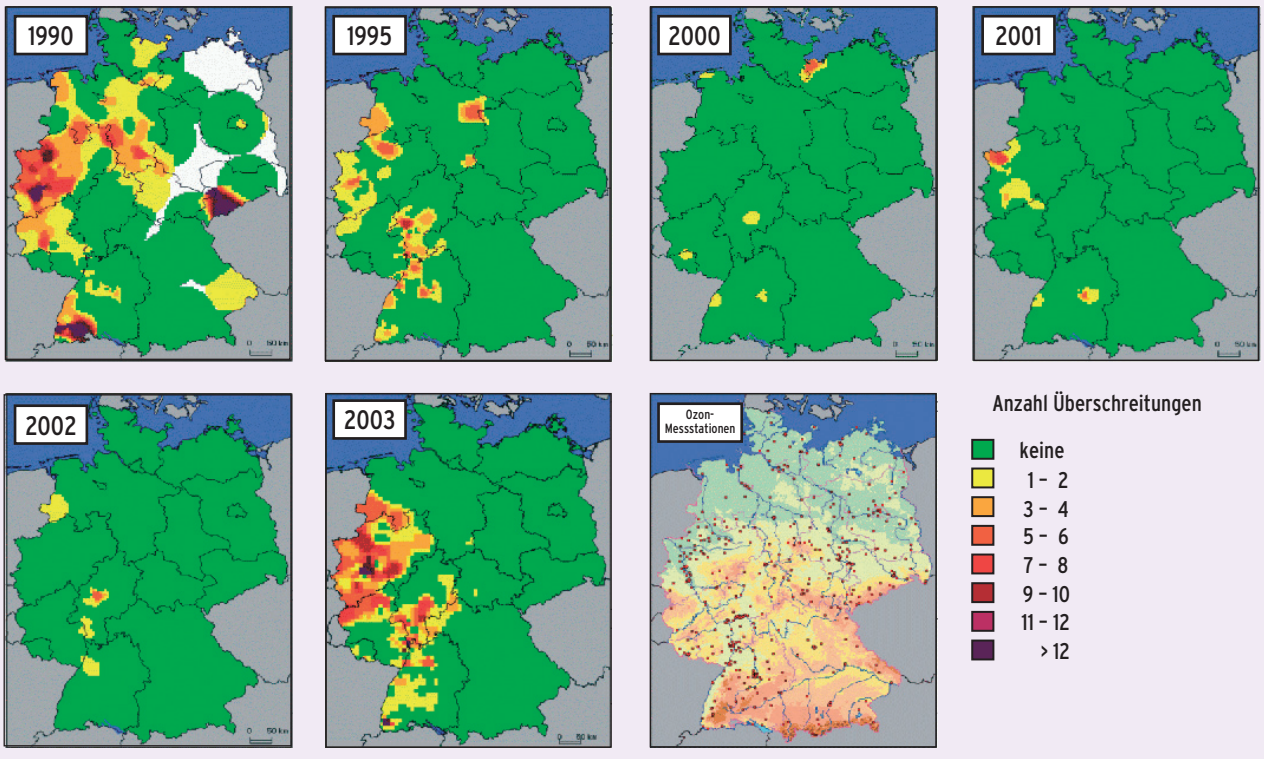
Abb. V 1.4-1: *Ozonüberschreitungen von 180 µg/m³*



Daten: Messnetze der Bundesländer und des Umweltbundesamtes
Aufgrund des verwendeten Interpolationsverfahrens ist eine kleinräumige Interpretation nicht zulässig

Quelle: *Bundesländer; Umweltbundesamt 2004*

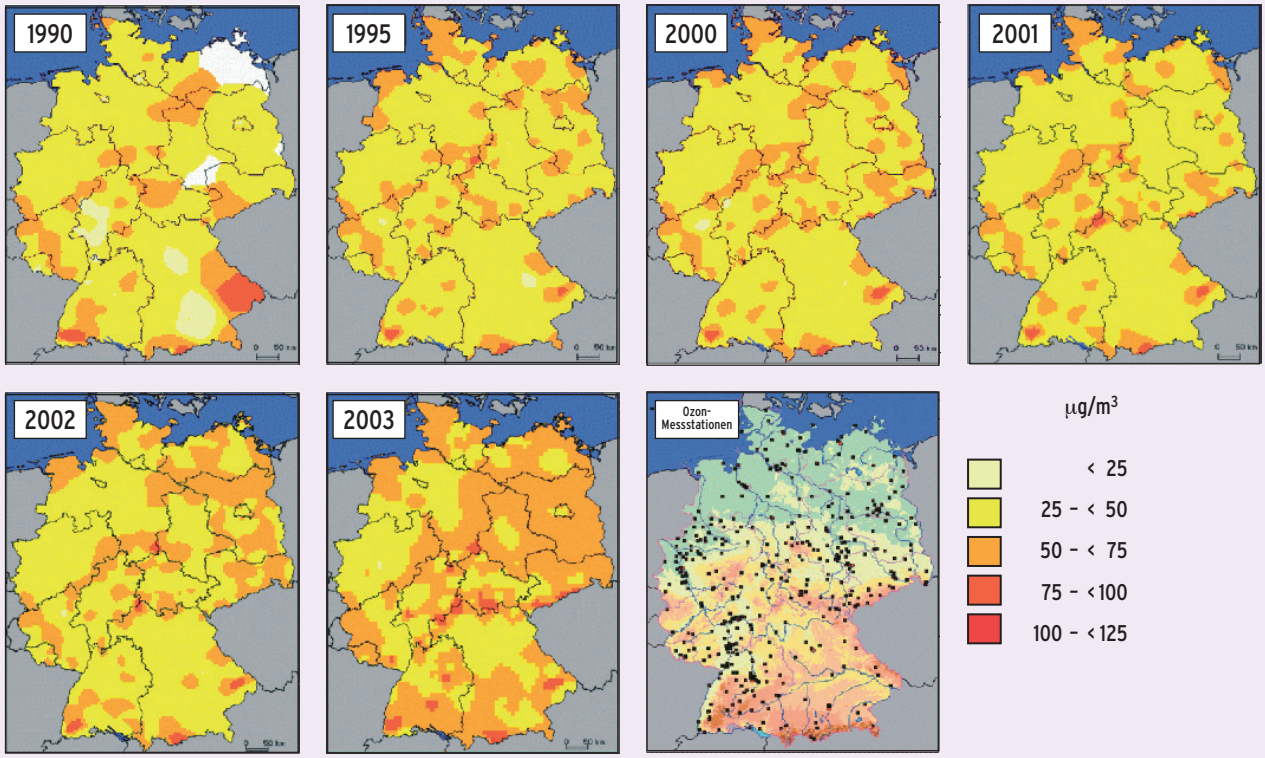
Abb. V 1.4-2: *Ozonüberschreitungen von 240 µg/m³*



Daten: Messnetze der Bundesländer und des Umweltbundesamtes
Aufgrund des verwendeten Interpolationsverfahrens ist eine kleinräumige Interpretation nicht zulässig

Quelle: *Bundesländer; Umweltbundesamt 2004*

Abb. V 1.4-3: *Ozonjahresmittelwerte*



Daten: Messnetze der Bundesländer und des Umweltbundesamtes
Aufgrund des verwendeten Interpolationsverfahrens ist eine kleinräumige Interpretation nicht zulässig

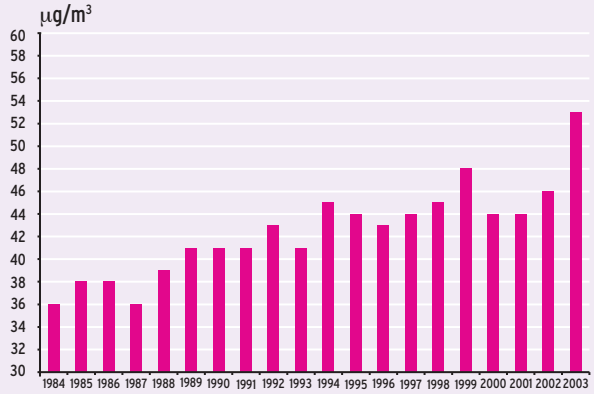
Quelle: *Bundesländer; Umweltbundesamt 2004*

noch können sie zur Beurteilung der Immissionssituation verwendet werden. Eine größere Bedeutung erhalten die Jahresmittelwerte bei der Diskussion der langfristigen Entwicklung der Ozonbelastung, sofern Werte bereits aus der Jahrhundertwende herangezogen werden. So sind folgende Mittelwerte verzeichnet:

Bei Montsouris (Nähe Paris) ca. 20 µg/m³ (ca. 1875–1900) nach der Enzyklopädie der technischen Chemie (ca. 1915–1920), für Tallagen ca. 40 µg/m³ und für Höhenlagen ca. 95 µg/m³.

Die Angaben können den heute gemessenen Ozonkonzentrationen wegen Abweichungen in der Wahl der damals angewandten Messmethoden, der Lage der Messstationen und der Probenahmebedingungen nur bedingt gegenübergestellt werden. Die Jahresmittelwerte der Ozonkonzentration von 1984 bis 2003 zeigen einen zunehmenden Trend (Abb. V 1.4-4). Dieser ist sehr wahrscheinlich auf den wachsenden Beitrag aus dem nordhemisphärischen Hintergrund sowie auf die Minderung der NO_X-Emissionen in Deutschland zurückzuführen (NO_X wird als Stickstoffmonoxid (NO) hauptsächlich durch den Straßenverkehr emittiert). Eine Abnahme der NO-Emissionen (Grund: Katalysator bei Pkw) kann in der Nähe stark befahrener Straßen zu einem Anstieg der Ozonwerte führen, da Ozon durch

Abb. V 1.4-4: *Jahresmittelwerte der Ozonkonzentrationen im Mittel über alle Messstationen*



Quelle: *Umweltbundesamt 2004*

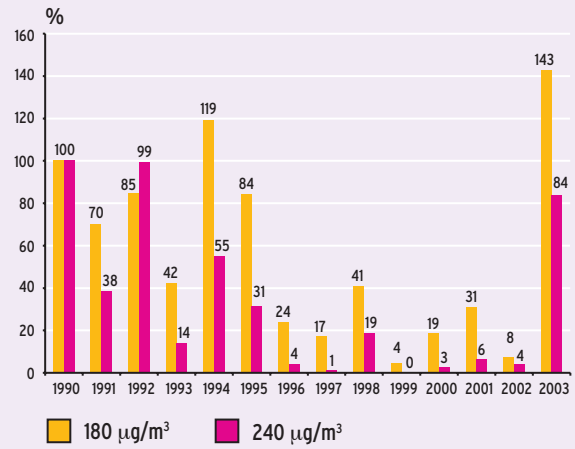
NO unter Bildung von NO_2 verbraucht wird (Verminderung durch den sog. Titrationseffekt).

Überschreitung von Schwellenwerten

Die Überschreitungshäufigkeit von Schwellenwerten ist eine häufig diskutierte Kenngröße der Ozondatenkollektive. Die Angabe der absoluten Überschreitung (Stunden mit Überschreitungen in Deutschland) ist sowohl von der Zahl der installierten Messstationen als auch von der Zahl der Episoden mit erhöhten Ozonkonzentrationen abhängig. Eine weite-

re Abhängigkeit besteht in der Art oder Lage der Messstationen (verkehrsnah, Großstadt, ländlich oder Berg). So sind beispielsweise in den letzten Jahren mehrere ländlich gelegene Messstationen eingerichtet worden, deren Ozonmessdaten einen deutlichen Einfluss auf die Grundgesamtheit aller Datenkollektive ausüben (Abb. V 1.4-5).

Abb. V 1.4-5: *Überschreitungsstunden (relativ zum Jahr 1990 und zur Zahl der jeweils betriebenen Messstellen*



Quelle: *Umweltbundesamt 2004*

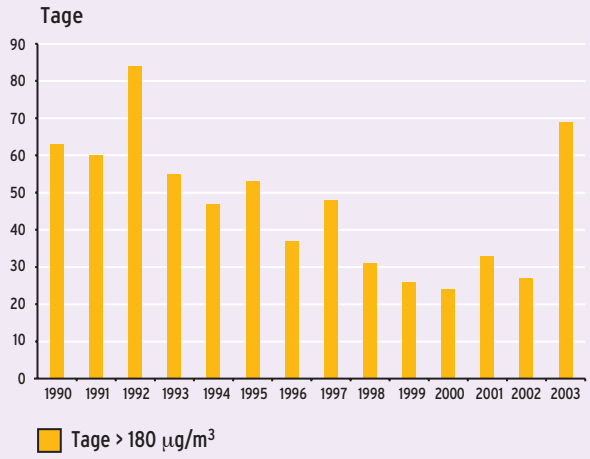
Die auf 1990 normierte Zahl der Stunden mit Überschreitungen von 180 und 240 µg/m³ im Mittel über die jeweils betriebenen Messstationen zeigt, dass die Zahl der Ozonwerte über 180 und 240 µg/m³ zwischen 1990 und 2003 von Jahr zu Jahr schwankt. Ein Trend lässt sich in dieser Darstellung nur schwer ablesen, da dieser von den ebenfalls von Jahr zu Jahr schwankenden meteorologischen Bedingungen überlagert ist. Im Sommer 2003 herrschten langanhaltend – 2 Wochen – für die Ozonbildung und Ozonanreicherung (auch der Ozonvorläuferstoffe) sehr günstige meteorologische Bedingungen, so dass sich ein hoher Sockel an Ozon anreichern konnte, auf den sich die Spitzen mit Schwellenwertüberschreitungen aufsetzten. Eine solch außergewöhnliche Wettersituation wurde erstmals im Jahr 2003 beobachtet, so dass der Ozonsommer 2003 diesbezüglich eine besondere Rolle einnimmt. Verglichen mit dem Jahr 1990 sind die Emissionen der Ozonvorläuferstoffe (Stickstoffoxide und flüchtige organische Verbindungen) in Deutschland bis heute um etwa 42 % bis 50 % zurückgegangen. Mit den Emissionen der Ozonvorläuferstoffe des Jahres 1997 wäre 2003 mit einer noch höheren Ozonbelastung und ca. 10 % mehr Überschreitungen zu rechnen gewesen.

Sommersmog (photochemischer Smog)

Für das Auftreten von Sommersmog müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein: Das Vorhandensein der beiden Vorläuferstoffe NO_X und NMVOC, eine intensive Sonnenstrahlung und eine mehrere Tage andauernde stabile Schönwetterperiode, die zu einer Speicherung von Ozon innerhalb der atmosphärischen Mischungsschicht führt.

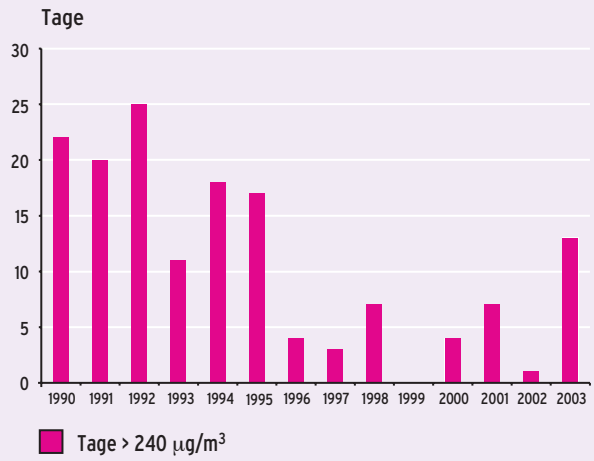
Die Höhe und Häufigkeit der Sommersmog-Episoden hängt demnach entscheidend vom Verlauf des jeweiligen Sommers ab. Als Sommersmog-Episoden werden mindestens 2 Tage andauernde Situationen bezeichnet, bei denen großräumig Überschreitungen des Informationsschwellenwertes von 180 µg/m³ auftreten. Die Abb. V 1.4-6 und die Abb. V 1.4-7 zeigen die Zahl der Stunden mit Überschreitungen von 180 µg/m³ bzw. 240 µg/m³ im Mittel über die jeweils betriebenen Messstellen.

Abb. V 1.4-6: *Anzahl der Tage mit Überschreitungen von 180 µg/m³*



Quelle: *Umweltbundesamt 2004*

Abb. V 1.4-7: *Anzahl der Tage mit Überschreitungen von 240 µg/m³*



Quelle: *Umweltbundesamt 2004*

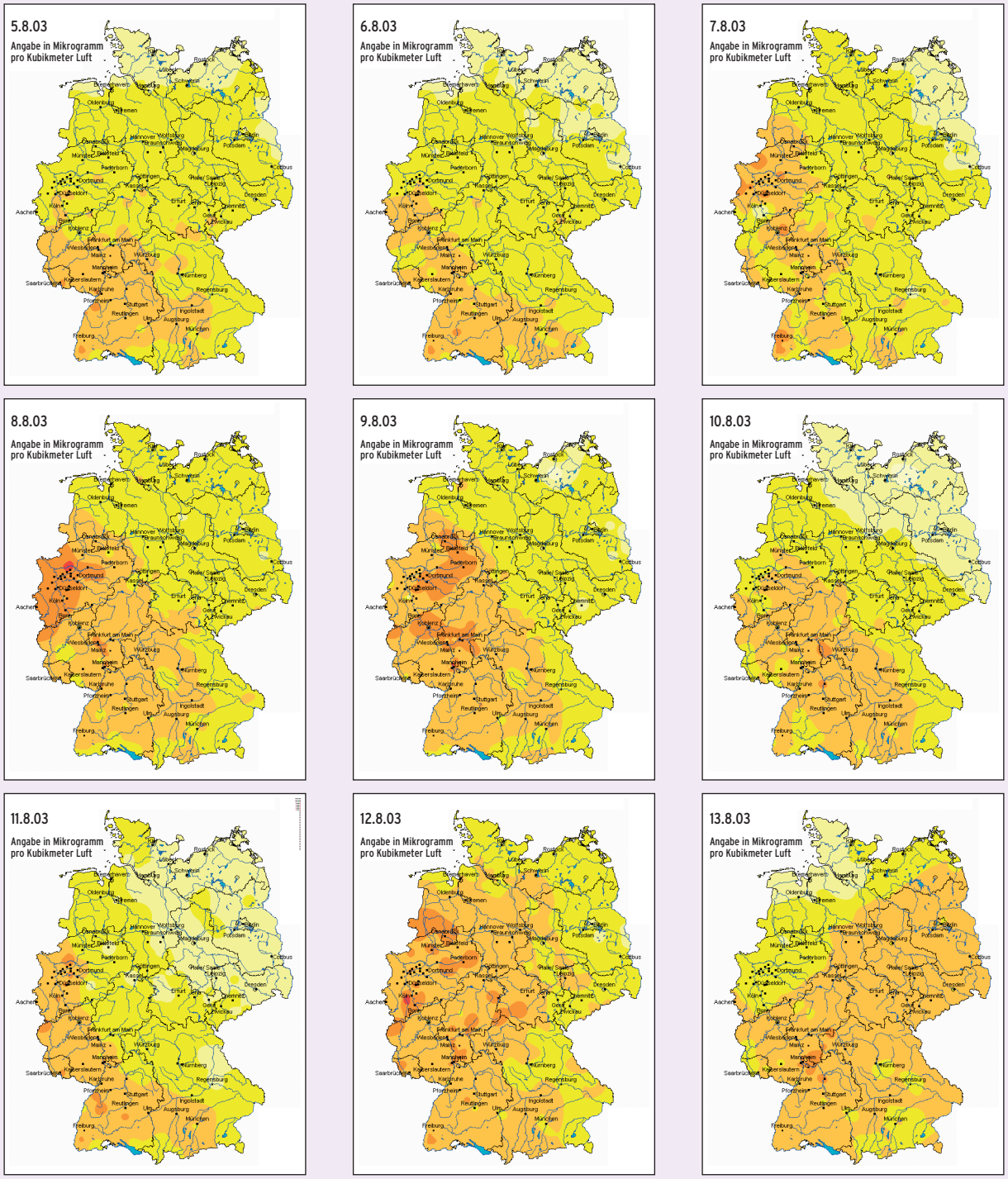
In der seit 1990 bisher längsten Ozonepisode vom 01.08 bis 14.08.2003 herrschten für die Ozonbildung und Ozonanreicherung (auch der Ozonvor-

läuferstoffe) sehr langanhaltend günstige meteorologische Bedingungen. Beispielhaft für diese Episode sind Karten der Tagesmaxima der Ozonkonzentration für den Höhepunkt der Episode 05.08. bis 13.08.2003 dargestellt (Abb. V 1.4-8).

Entwicklung verkehrsspezifischer Emissionen von Ozonvorläufersubstanzen

Die 33. BImSchV regelt die Emissionen der Ozonvorläufersubstanzen, die bis zum Jahr 2010 auf nationa-

Abb. V 1.4-8: *Maximale Stundenmittelwerte der Ozonkonzentrationen vom 5.8. bis 13.8.2003*



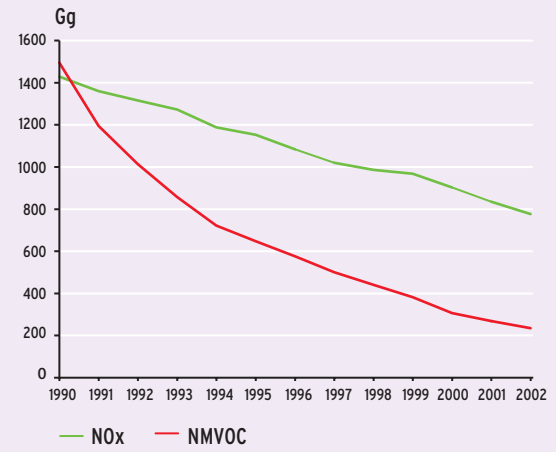
Quelle: *Bundesländer; Umweltbundesamt 2004*

le Emissionshöchstgrenzen zu reduzieren sind (NO_x auf 1 051 kt und VOC auf 995 kt).

Eine wichtige Quelle für die Emission der Vorläufersubstanzen von Ozon stellt der Kfz-Verkehr dar. Darüber hinaus werden vor allem aus dem Kraftwerksbereich Stickstoffoxide und aus der Anwendung von Lacken und Lösungsmitteln flüchtige organische Verbindungen emittiert. Die Emissionen sind teilweise auch natürlichen Ursprungs.

Angesichts der erheblichen Reduzierung der Emissionen der Ozonvorläufer seit 1990 (Abb. V 1.4-9) sowie der bis zum Jahre 2010 zu erreichenden Emissionsminderungen in Deutschland und Europa interessiert vor allem, wie die Ozonkonzentrationen auf diese Emissionsreduzierungen reagiert haben und ab wann die Ozonimmissionswerte der 33. BImSchV voraussichtlich eingehalten werden können. Die Untersuchungen zeigen, dass die Ozonspitzenkonzentrationen in Deutschland zwischen 1990 und 2002 deutlich abgenommen haben. Diese Abnahme ist im Wesentlichen auf die erhebliche Reduzierung der Vorläufer und nicht auf meteorologische Einflüsse zurückzuführen. Die Ozonspitzenwerte werden in den kommenden Jahren weiter sinken, wenn auch nicht in dem Maße wie zwischen 1990 und 2002. Im Gegensatz zu der erfreulichen Entwicklung und Prognose der Ozonspitzenwerte werden die mittleren Ozonkonzentrationen in Deutschland auch in den kommenden Jahrzehnten kaum zurückgehen. Das bedeutet, dass die neuen Zielwerte für den Schutz der Vegetation in den kommenden Jahrzehnten kaum eingehalten werden können.

Abb. V 1.4-9: *Emissionen im Verkehr*



Quelle: *Umweltbundesamt 2004*

Zur weiteren Reduzierung von Schadstoffemissionen sollten veranlasst werden:

- Durchsetzung des geregelten Drei-Wege-Katalysators im Bestand der Otto-Pkw,
- Kontinuierliche Verschärfung der zulässigen Abgas-Grenzwerte,
- Partikelfilter,
- Weiterentwicklung umweltschonender alternativer Antriebstechnologien,
- Schulung der Kraftfahrer zu kraftstoff- und emissionsarmer Fahrweise,
- Maßnahmen zur Erhöhung des Besetzungs- bzw. Beladungsgrades (Frachtbörsen, Mitfahrerbörsen etc.),
- Maßnahmen zur Senkung des Verkehrsaufwandes und zur Verlagerung von Straßenverkehr auf weniger umweltbelastende Verkehrsträger.

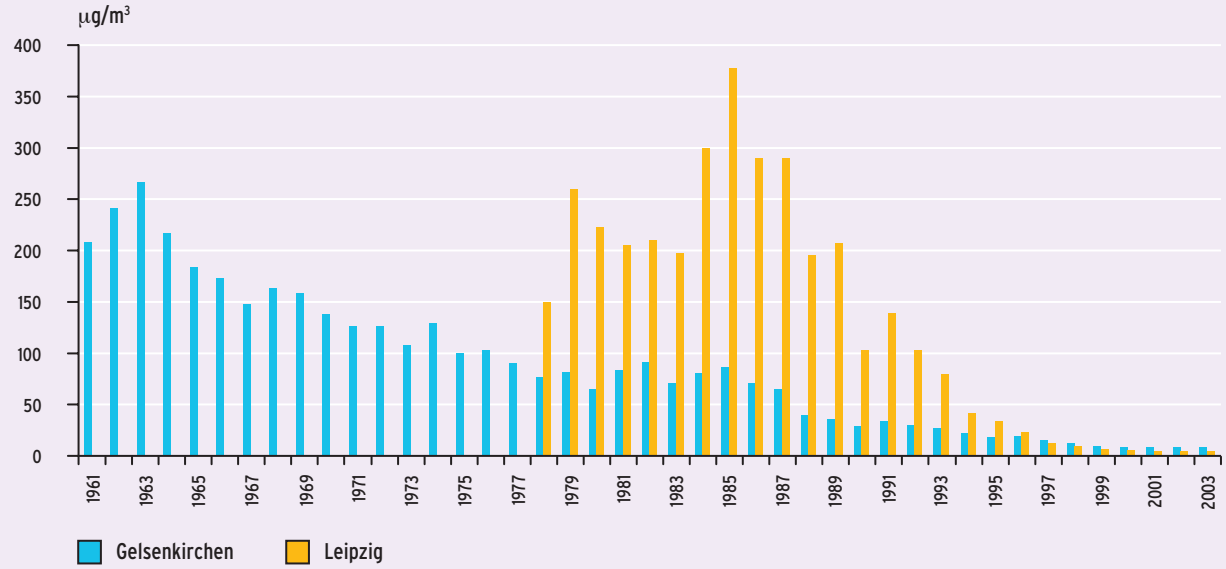
V 1.5 Schadstoffe in Ballungsgebieten

Lange Zeit galt das Ruhrgebiet als eine der am höchsten durch Luftverunreinigungen belasteten Regionen des alten Bundesgebietes. Als eine der Leitkomponenten zur Bewertung der Luftverunreinigung soll hier die Entwicklung der SO_2-Belastung dargestellt werden. So wurden in Gelsenkirchen bis Mitte der 60er Jahre Schwefeldioxid-Jahresmittelwerte zwischen 180 und 270 µg/m³ gemessen. Danach nahm die SO_2-Konzentration kontinuierlich ab und lag Mitte der 80er Jahre unter 100 µg/m³. Bis 2002 erfolgte dann ein weiterer Rückgang auf Werte um 8 µg/m³, der den Emissionsminderungsmaßnahmen bei Kraftwerken und industriellen Anlagen zuzuschreiben ist.

Repräsentativ für die Entwicklung in den Ballungsgebieten der neuen Länder stellt sich die Situation in Leipzig dar. In den 80er Jahren wurden Jahresmittelwerte der SO_2-Konzentration um 200 µg/m³ gemessen, in den Jahren 1984 bis 1987 mit strengen Wintern örtlich sogar Konzentrationswerte über 300 µg/m³. Auch in den sich ab 1988 anschließenden Jahren mit milden Wintern wurden zunächst noch Mittelwerte bis 200 µg/m³ erreicht. Eine deutliche emissionsbedingte Abnahme ist seit 1990 zu verzeichnen. 2002 wurden an den gleichen Messstellen nur noch SO_2-Immissionskonzentrationen von 4 µg/m³ als Jahresmittelwert erreicht (Abb. V 1.5-1).

Nach der Reduzierung der SO_2-Belastung durch erfolgreich eingeleitete Emissionsminderungsmaßnahmen vor allem im Bereich von Kraftwerken und industriellen Anlagen treten immer mehr Luftverunreinigungen in den Vordergrund, die aus dem Verkehrsbereich stammen. Hier sind vor allem Ruß und Benzol wegen ihrer gesundheitsgefährdenden Eigenschaften zu erwähnen. In den letzten Jahren kam es vielfach zu einem abnehmenden Trend der Benzolbelastung. Während in den 90er Jahren noch an ca. 20 bis 30 % aller

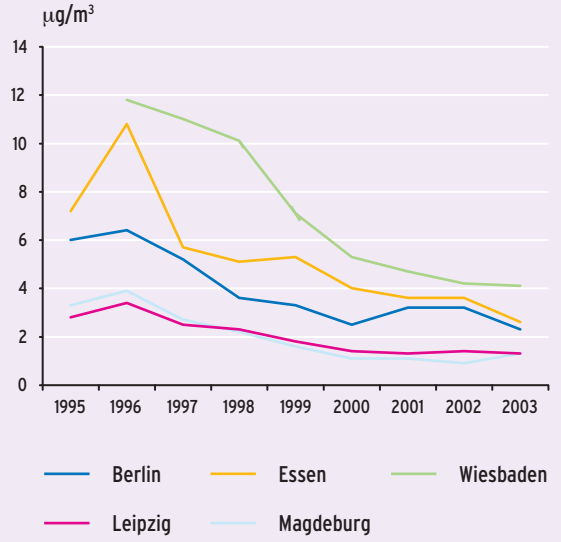
Abb. V 1.5-1: *Vergleich der SO_2-Jahresmittelwerte Gelsenkirchen – Leipzig*



Quelle: *Umweltbundesamt 2004 a*

Messstellen Benzol-Jahresmittelwerte über 5 µg/m³ gemessen wurden, war dies ab dem Jahr 2000 nur noch an weniger als 10 % aller Stationen der Fall. Auch bei den höchsten in Deutschland festgestellten Jahresmittelwerten ist ein Abwärtstrend zu verzeichnen. Wurden von 1995 bis 1998 an den am stärksten mit Benzol belasteten Punkten noch Jahresmittelwerte von 15 µg/m³ erreicht, liegen derzeit die höchsten Benzol-Jahresmittelwerte bei ca. 8,5 bis 9 µg/m³. Mittlerweile liegen an ca. 90 bis 95 % aller Messpunkte die Benzol-Jahreswerte zwischen 0,5 und 5 µg/m³, wobei im ländlichen Raum nur Werte um 0,5 µg/m³ auftreten. Die höchsten Benzolbelastungen werden in der Nachbarschaft stark frequentierter Straßen, besonders in Straßenschluchten, festgestellt. In der Abb. V 1.5-2 sind die Benzol-Jahresmittelwerte für den Zeitraum 1995 bis 2002 für fünf Ballungsräume/Städte zusammengestellt. Die Benzolbelastung schwankt zwischen 1 und fast 12 µg/m³.

Abb. V 1.5-2: *Benzol-Konzentrationen für ausgewählte Stationen in Ballungsräumen/Städten*



Quelle: *Umweltbundesamt 2004*

Die EU-Richtlinie 2000/69/EG, die mit der 22. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz in deutsches Recht umgesetzt ist, legt als Schwellenwert der Benzolbelastung einen Jahresmittelwert von 5 µg/m³ fest, der bis 2010 zu erreichen ist. Momentan wird dieser Wert örtlich noch überschritten.

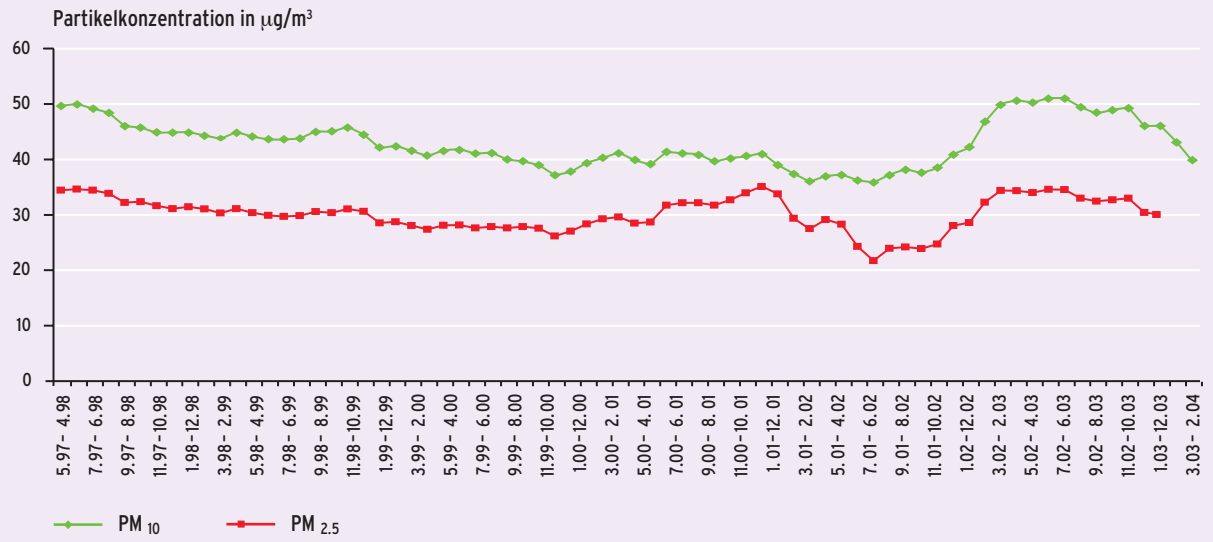
Neben Benzol spielen Partikel eine große Rolle für die Luftbelastung in Ballungsräumen und Städten.

Das UBA führt seit Mitte 1997 an einer Messstelle in Berlin in einem dicht bebauten Stadtbereich direkt an der Stadtautobahn Messungen der Schwebstaubkomponenten PM_{10} und $PM_{2,5}$ sowie der Rußkonzentration durch.

Wegen der starken verkehrsbedingten Emissionen wie (Diesel-) Ruß, Reifenabrieb sowie aufgewirbelter Staub und Emissionen aus dem Stadtgebiet – wie Staub aus Hausfeuerungsanlagen, Gewerbebetrieben und industriellen Anlagen – gehört diese Messstelle zu den am höchsten belasteten Stellen in Deutschland.

Die Schwebstaub-Konzentrationen, in der Abb. V 1.5-3 beispielhaft dargestellt als gleitende Jahresmittelwerte der PM_{10}- und $PM_{2,5}$-Fraktion an der Stadtautobahn Berlin, nehmen zwischen Mai 1997 und Dezember 2002 allmählich ab. Der Anstieg im Jahr 2003 ist auf deutschlandweite Episoden hoher PM_{10}-Belastung zurückzuführen. Der Kurvenverlauf

Abb. V 1.5-3: *Gleitende Jahresmittelwerte von PM_{10} und $PM_{2.5}$ an der Messstelle Stadtautobahn, Berlin*



Quelle: *Umweltbundesamt 2004*

zeigt eine erneute Abnahme zu Beginn des Jahres 2004 auf das Konzentrationsniveau vor Auftreten der Episode im Jahr 2003.

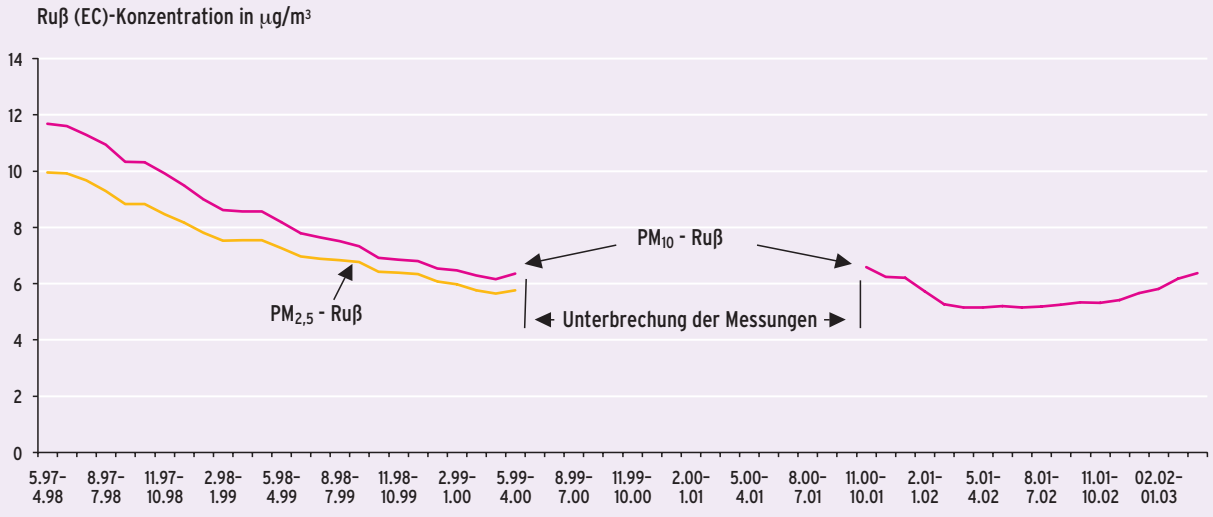
Der Abb. V 1.5-4 ist zu entnehmen, dass sich im Messzeitraum – ausgenommen die Episoden hoher PM_{10}-Konzentrationen im Jahre 2003 – die mittlere PM_{10}-Rußkonzentration um ca. 6 µg/m³ und die mittlere $PM_{2,5}$-Rußkonzentration um ca. 4 µg/m³ bei gleichbleibender Verkehrsdichte an der Messstelle verringert hat. Diese Reduzierung der Rußkonzentrationen entspricht auch dem Rückgang der PM_{10}- und $PM_{2,5}$-Schwebstaubkonzentrationen in demselben Zeitraum. Beide Abbildungen zeigen, dass sich der Konzentrationsunterschied zwischen dem PM_{10}-und dem $PM_{2,5}$-Ruß über den Messzeitraum deutlich verringert hat.

Die Kurvenverläufe lassen darauf schließen, dass Dieselfahrzeuge heute weniger Ruß emittieren als früher. Die geringer werdenden Unterschiede zwischen PM_{10}- und $PM_{2,5}$-Ruß legen des Weiteren die Vermutung nahe, dass Lkw-Motoren heute nicht mehr einen so hohen Anteil gröberer Rußpartikel über 2,5 µm wie früher emittieren.

V 2 Ausgaben des Produzierenden Gewerbes, des Staates und der privatisierten öffentlichen Unternehmen für den Umweltschutz in der Luftreinhaltung

Umweltschutzausgaben umfassen Investitionen für Anlagen des Umweltschutzes sowie laufende Ausga-

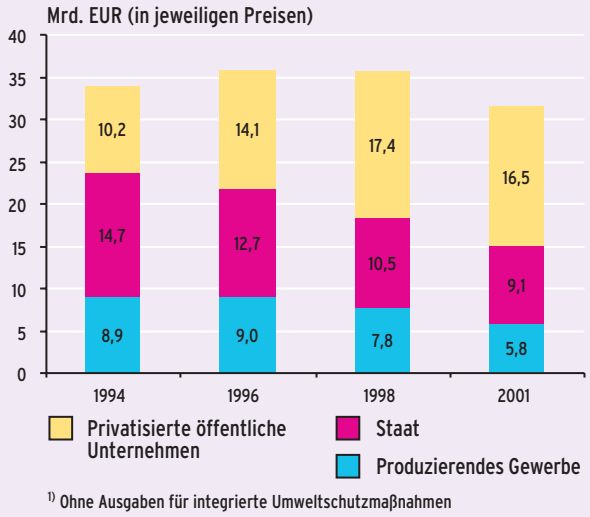
Abb. V 1.5-4: *Gleitende Jahresmittelwerte von Ruß (EC)-Konzentrationen an einer Verkehrsmessstelle in Berlin*



Quelle: *Umweltbundesamt 2004*

ben für deren Betrieb (Abb. V 2-1). Die im folgenden dargestellten Ausgaben sind wegen statistischer Erfassungsabgrenzungen als Untergrenze der gesamtwirtschaftlichen Ausgaben für den Umweltschutz anzusehen. Es fehlen vor allem beim Produzierenden Gewerbe die integrierten Umweltschutzinvestitionen und Teile des Dienstleistungssektors.

Abb. V 2-1: *Entwicklung der Umweltschutzausgaben*[1)]



[1)] Ohne Ausgaben für integrierte Umweltschutzmaßnahmen

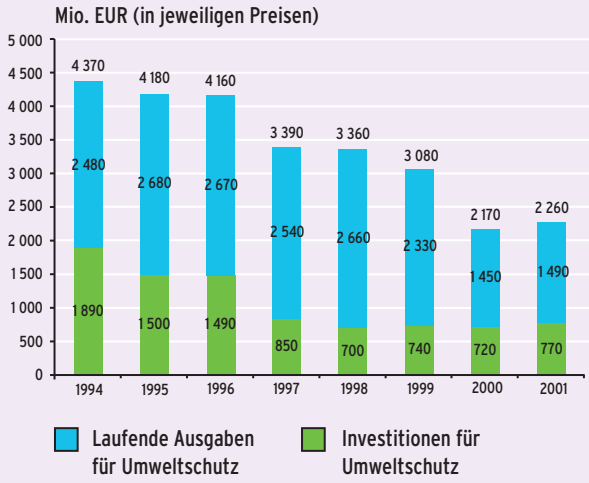
Quelle: *Statistisches Bundesamt 2004*

Die Investitionen für den Umweltschutz enthalten den Wert der dauerhaften, reproduzierbaren Produktionsmittel, die von inländischen Wirtschaftseinheiten erworben werden, um sie für Zwecke des Umweltschutzes einzusetzen. Dabei handelt es sich sowohl um Ausrüstungen (z.B. Maschinen und maschinelle Anlagen, Fahrzeuge) als auch um Bauten (z. B. Gebäude, Kanalisationsanlagen, Deponien).

Die laufenden Umweltschutzausgaben des Produzierenden Gewerbes für Umweltschutz umfassen Personalausgaben (inkl. Wartung und Reparatur), Ausgaben für Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe sowie Ersatzteile. Beim Staat enthalten sie neben den Personalausgaben (Bruttolöhne und -gehälter sowie tatsächliche Sozialbeiträge) auch sächliche Ausgaben (Geschäftsbedarf, Treibstoffe, Mieten usw.).

Im Zeitablauf gewinnen die laufenden Ausgaben gegenüber den Investitionen für Umweltschutz ein immer stärkeres Gewicht (Tab. V 2-1). Verantwortlich hierfür ist der mittlerweile beträchtliche Bestand an Umweltschutzanlagen, der vor allem in den letzten zwei Jahrzehnten aufgebaut wurde.

Abb. V 2-2: *Umweltschutzausgaben für die Luftreinhaltung*



Quelle: *Statistisches Bundesamt 2004*

Tab. V 2-1: *Umweltschutzausgaben in Mio. EUR (in jeweiligen Preisen)*

Gegenstand der Nachweisung	1994	1996	1998	2000*)	2001*)
Ausgaben für Umweltschutz insgesamt	33 870	35 770	35 640	31 400	31 380
davon:					
Produzierendes Gewerbe[1) 2)]	8 910	9 000	7 780	5 760	5 840
Staat	14 730	12 700	10 460	9 550	9 070
privatisierte öffentliche Unternehmen[4)]	10 230	14 070	17 400	16 080	16 470
Investitionen für Umweltschutz	15 180	12 780	12 050	9 360	8 670
davon:					
Produzierendes Gewerbe[1)]	3 030	2 550	1 630	1 560	1 580
Staat	6 840	4 970	3 740	3 010	2 630
privatisierte öffentliche Unternehmen[4)]	5 310	5 260	6 680	4 790	4 470
Laufende Ausgaben für Umweltschutz	18 690	22 990	23 600	22 040	22 710
davon:					
Produzierendes Gewerbe[1) 2) 3)]	5 880	6 460	6 140	4 200	4 270
Staat	7 890	7 720	6 730	6 540	6 440
privatisierte öffentliche Unternehmen[4)]	4 920	8 810	10 730	11 300	12 000

[1)] ohne Baugewerbe und Ausgaben für integrierte Umweltschutzmaßnahmen
[2)] ab 2000 ohne laufende Ausgaben der Energie- und Wasserversorgung
[3)] ohne Gebühren und Entgelte für Versorgungsleistungen durch Dritte
[4)] Außerhalb der öffentlichen Haushalte geführte Unternehmen, insbes. Eigenbetriebe der Abfallbeseitigung und des Gewässerschutzes
*) Vorläufige Angaben

Quelle: *Statistisches Bundesamt 2004*

2001 haben Wirtschaft, Staat und privatisierte öffentliche Entsorgungsunternehmen insgesamt rd. 31,4 Mrd. € (jeweilige Preise) für den Umweltschutz ausgegeben. Dies entspricht einem Anteil von rund 1,5 % am Bruttoinlandsprodukt. Davon entfielen 5,8 Mrd. € auf das Produzierende Gewerbe sowie 9,1 Mrd. € auf die öffentlichen Haushalte (Staat) und 16,5 Mrd. € auf die privatisierten öffentlichen Unternehmen.

Mit rund 2,3 Mrd. € wurden 7 % der Umweltschutzausgaben für die Luftreinhaltung aufgewandt. Davon machten die Investitionen in 2001 etwa ein Drittel der Ausgaben aus (Abb. V 2-2).

V 3 Übersicht schadstoffspezifischer Emissionen

Die Emissionsberechnung erfolgt hauptsächlich auf der Grundlage der jährlich veröffentlichten Energiebilanz. Statistische Angaben und zusätzliche notwendige Detailangaben von einzelnen Verbänden ergänzen die Emissionsberechnung.

Sie ermöglichen es, die Energieeinsätze für die einzelnen Quellgruppen nach Brennstoffen zu ermitteln. Durch Verknüpfung mit Emissionsfaktoren für die Energieeinsätze und weiterer emissionsverursachender Vorgänge sind Emissionsaussagen nach verursachenden Bereichen möglich, die je nach gewünschter Abgrenzung vorgenommen werden. Für die Treibhausgase z. B. ist dies die IPCC-Struktur [1].

Betrachtet werden die direkten Treibhausgase CO_2, CH_4 und N_2O und die indirekten Treibhausgase NO_x, NMVOC und CO sowie SO_2 und Gesamtstaub.

Die Emissionsentwicklungen seit 1990 zeigen die deutlichen Erfolge bei der Minderung dieser Schadstoffe (Tab. V 3-1).

Die im folgenden aufgeführten hauptsächlichen Gründe für diese positive Entwicklung sind dabei für alle hier betrachteten Komponenten mehr oder weniger relevant:

- Durch die Wiedervereinigung Deutschlands im Jahre 1990 trugen vor allem die Emissionen vom Gebiet der ehemaligen DDR zu einem sehr hohen Ausgangsniveau bei.
- In den Folgejahren wurden im Osten Deutschlands veraltete und ineffektive Industrieanlagen stillgelegt. Statt ihrer wurden weitestgehend modernsten Ansprüchen genügende Neuanlagen errichtet.
- Besonders im Osten Deutschlands erfolgte zudem eine Umstellung von der heimischen Braunkohle zugunsten der mit geringeren Emissionen verbundenen Energieträger Erdgas und Erdöl.
- Im Verkehrsbereich erfolgte der Einsatz neuerer und mit schadstoffmindernder Technik ausgestatteter Fahrzeuge.
- In den Jahren nach 1990 erlangten die immissionsschutzrechtlichen Regelungen der früheren Bundesrepublik nach dem Auslaufen von zeitlich begrenzten Übergangsregelungen auch volle Rechtsverbindlichkeit im Osten Deutschlands. Zudem wurde das geltende Recht mehrfach an den weiterentwickelten Stand der Technik angepasst.
- Eingeführte gesetzliche und marktwirtschaftliche Regelungen führten zu einem sparsameren Umgang mit Energie und Rohstoffen.
- Internationale Rechtssetzung insbesondere der europäischen Gemeinschaft wirkt sich ebenfalls emissionsmindernd aus (z. B. die NEC-Richtlinie).

[1] Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

Tab. V 3-1: *Emissionen ausgewählter Luftschadstoffe nach Quellgruppen*

	1990	1995	2000	2001	2002	2003
Kohlendioxid (CO_2) in Mt[1)]						
Energiewirtschaft	414	355	344	349	357	363
Verarbeitendes Gewerbe	196	150	136	133	132	129
Verkehr[2)]	162	177	182	178	176	170
Haushalte und Kleinverbraucher[3)]	216	194	173	190	176	180
Industrieprozesse	26	26	25	24	23	24
Gesamt	**1 015**	**902**	**860**	**874**	**864**	**865**
Stickstoffoxide (NO_x, berechnet als NO_2) in kt						
Energiewirtschaft	603	288	254	258	262	266
Verarbeitendes Gewerbe	355	210	165	156	152	154
Verkehr[2)]	1 429	1 152	896	828	771	700
Haushalte und Kleinverbraucher[3)]	328	252	220	224	216	214
Industrieprozesse	31	14	12	10	10	12
Landwirtschaft	101	84	88	85	82	82
Gesamt	**2 846**	**2 000**	**1 634**	**1 560**	**1 493**	**1 428**
Schwefeldioxid (SO_2) in kt						
Energiewirtschaft	3 078	1 418	325	329	337	340
Verarbeitendes Gewerbe	994	188	119	119	109	113
Verkehr[2)]	106	76	21	18	4	2
Haushalte und Kleinverbraucher[3)]	923	171	96	105	88	87
Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	169	27	20	20	20	20
Industrieprozesse	57	57	54	53	53	55
Gesamt	**5 326**	**1 937**	**636**	**643**	**611**	**616**

Tab. V 3-1: *Emissionen ausgewählter Luftschadstoffe nach Quellgruppen* (Fortsetzung)

	1990	1995	2000	2001	2002	2003
Kohlenmonoxid (CO) in kt						
Energiewirtschaft	179	122	112	115	119	119
Verarbeitendes Gewerbe	828	676	687	640	605	638
Verkehr[2)]	6 765	3 937	2 434	2 145	1 960	1 756
Haushalte und Kleinverbraucher[3)]	2 711	1 210	1 062	1 065	1 020	1 049
Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	47	11	9	7	7	8
Industrieprozesse	682	624	608	589	588	584
Gesamt	**11 212**	**6 581**	**4 913**	**4 561**	**4 300**	**4 155**
Distickstoffoxid (N_2O) in kt						
Energiewirtschaft	14	12	12	12	12	12
Verarbeitendes Gewerbe	6	4	3	3	3	3
Verkehr[2)]	10	18	17	16	15	14
Haushalte und Kleinverbraucher[3)]	4	2	2	2	2	2
Industrieprozesse	76	81	18	24	25	33
Lösemittel und andere Produktverwendung	6	6	6	6	6	6
Landwirtschaft	156	131	136	132	129	128
Abfall	7	7	7	7	7	7
Gesamt	**279**	**261**	**201**	**202**	**199**	**205**
Ammoniak (NH_3) in kt						
Energiewirtschaft	4	3	3	3	3	3
Verarbeitendes Gewerbe	3	2	1	1	1	1
Verkehr[2)]	5	9	9	9	8	7
Haushalte und Kleinverbraucher[3)]	4	4	4	4	3	3
Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	1	0	0	0	0	0
Industrieprozesse	15	10	10	9	10	10
Lösemittel und andere Produktverwendung	1	2	2	2	2	2
Landwirtschaft	704	582	578	588	578	573
Gesamt	**736**	**611**	**607**	**616**	**606**	**601**
Staub in kt						
Energiewirtschaft	565	18	11	11	12	12
Verarbeitendes Gewerbe	343	5	3	3	3	3
Verkehr[2)]	113	116	106	102	98	95
Haushalte und Kleinverbraucher[3)]	347	32	22	22	21	21
Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	317	7	4	4	4	4
Industrieprozesse	114	103	99	93	91	92
Schüttgutumschlag	136	49	44	44	44	44
Gesamt	**1 934**	**329**	**289**	**279**	**273**	**271**
NMVOC in kt						
Energiewirtschaft	8	9	8	8	8	9
Verarbeitendes Gewerbe	12	8	7	6	6	6
Verkehr[2)]	1 495	647	304	267	233	199
Haushalte und Kleinverbraucher[3)]	182	91	88	88	87	89
Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	283	110	66	62	57	55
Industrieprozesse	90	96	118	115	123	124
Lösemittel und andere Produktverwendung	1 160	1 050	875	812	750	750
Landwirtschaft	304	237	231	233	229	228
Gesamt	**3 534**	**2 248**	**1 697**	**1 592**	**1 494**	**1 460**
Methan (CH_4) in kt						
Energiewirtschaft	8	6	5	5	6	6
Verarbeitendes Gewerbe	12	6	6	6	5	6
Verkehr[2)]	64	30	17	15	13	11
Haushalte und Kleinverbraucher[3)]	133	38	32	32	31	32
Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	1 561	1 197	835	722	697	678
Industrieprozesse	16	16	18	18	17	19
Landwirtschaft	2 891	2 458	2 342	2 361	2 298	2 269
Abfall	1 605	1 245	693	617	574	560
Gesamt	**6 290**	**4 996**	**3 948**	**3 777**	**3 642**	**3 582**

[1)] ohne Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft [2)] ohne land- und forstwirtschaftlichen Verkehr
[3)] mit land- und forstwirtschaftlichem Verkehr sowie Militär

Quelle: *Umweltbundesamt 2005*

VI GEWÄSSERSCHUTZ

VI 1 Oberflächengewässer

Die oberirdischen Gewässer werden durch punktuelle (z. B Abwassereinleitungen) und diffuse Stoffeinträge (z.B. Einträge aus der Landwirtschaft) sowie nutzungsbezogene hydromorphologische Änderungen (z.B. Veränderungen von Ufer und Flussbett für die Schifffahrt) belastet. Um zu prüfen, ob Gewässernutzungen oder aquatische Lebensgemeinschaften beeinträchtigt sind, werden die Oberflächengewässer innerhalb nationaler und internationaler Überwachungsprogramme regelmäßig untersucht. In den Messprogrammen der Bundesländer und Flussgebietskommissionen werden neben biologischen Parametern auch chemische Kenngrößen wie Nährstoffe, Schwermetalle und organische Mikroverunreinigungen und die Merkmale der hydromorphologischen Qualität erfasst. Die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) gibt in Abständen von jeweils fünf Jahren seit 1975 die biologische Gewässergütekarte der Bundesrepublik Deutschland, die den Zustand der Fließgewässer nach biologisch-ökologischen Merkmalen beurteilt, und in Ergänzung dazu in der Veröffentlichung „Fließgewässer der Bundesrepublik Deutschland, Karten der Wasserbeschaffenheit“, chemisch-physikalische Gütekarten sowie 2001 erstmalig die Gewässerstrukturkarte heraus. Die Daten zur Beschaffenheit der Oberflächengewässer (Fließgewässer und Seen) werden von den Bundesländern erhoben und dem Umweltbundesamt (UBA) zum Zweck der statistischen und graphischen Aufbereitung sowie einer länderübergreifenden Dokumentation und Bewertung übermittelt. Grundlage dafür ist die Verwaltungsvereinbarung zwischen Bund und Ländern über den Datenaustausch im Umweltbereich und deren Anhänge.

Mit der Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmen für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, der sogenannten Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), wurden mit der Schaffung eines einheitlichen Rechts für den Umgang mit Wasser zugleich die Ziele für den Zustand der Oberflächengewässer in der EU neu definiert. Neben der bislang im Vordergrund stehenden stofflichen Zielsetzung wurde die ökologische Qualität der Gewässer in den Mittelpunkt der Betrachtung gerückt. Dabei spielen besonders auch morphologische Bedingungen eine bedeutende Rolle. Die zukünftigen Überwachungsprogramme werden sich diesen neuen Inhalten spätestens bis Ende 2006 anpassen, d.h. es wird eine sehr viel intensivere biologische Gewässerüberwachung als bisher erfolgen.

VI 1.1 Gewässerstruktur und Hochwasserschutz

Gewässerstruktur

Die von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) gemeinsam mit dem UBA erstellte Gewässerstrukturkarte gibt zum ersten Mal einen Überblick über die von Menschenhand vorgenommenen hydromorphologischen Eingriffe in die Gewässer [1]. Die Bewertung basiert auf der von der LAWA entwickelten Gewässerstrukturgüteklassifikation (Tab. VI 1.1-1). Dabei wird die Veränderung der Gewässerstrukturen als Abweichung vom potenziell natürli-

Tab. VI 1.1-1: *Gewässerstrukturklassen*

Klasse	Grad der Veränderungen	Kurze Beschreibung
1	unverändert	Die Gewässerstruktur entspricht dem potenziell natürlichen Zustand.
2	gering verändert	Die Gewässerstruktur ist durch einzelne, kleinräumige Eingriffe nur gering beeinflusst.
3	mäßig verändert	Die Gewässerstruktur ist durch mehrere kleinräumige Eingriffe nur mäßig beeinflusst.
4	deutlich verändert	Die Gewässerstruktur ist durch verschiedene Eingriffe z.B. in Sohle, Ufer, durch Rückstau und/oder Nutzungen in der Aue deutlich beeinflusst.
5	stark verändert	Die Gewässerstruktur ist durch Kombination von Eingriffen z.B. in die Linienführung, durch Uferverbau, Querbauwerke, Stauregulierung, Anlagen zum Hochwasserschutz und/oder durch die Nutzungen in der Aue beeinträchtigt.
6	sehr stark verändert	Die Gewässerstruktur ist durch Kombination von Eingriffen z.B. in die Linienführung, durch Uferverbau, Querbauwerke, Stauregulierung, Anlagen zum Hochwasserschutz und/oder durch die Nutzungen in der Aue stark beeinträchtigt.
7	vollständig verändert	Die Gewässerstruktur ist durch Eingriffe in die Linienführung, durch Uferverbau, Querbauwerke, Stauregulierung, Anlagen zum Hochwasserschutz und/oder durch die Nutzungen in der Aue vollständig verändert.

Quelle: *Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 2002*

chen Zustand als Referenz in 7 Stufen erfasst. Leitbild und Klasse 1 stellt der potenziell natürliche Zustand dar, d.h. der Zustand, der sich einstellen würde, falls die derzeitigen Nutzungen und Verbauungen rückgängig gemacht werden würden. Unter diesen Bedingungen wären die naturraumtypischen Lebensgemeinschaften vollständig vorhanden (Referenzzustand). Die weiteren Stufen von gering (Klasse 2) bis vollständig verändert (Klasse 7) kennzeichnen die Stärke der anthropogenen Strukturveränderungen. Unter diesen Bedingungen stellen sich andere vom Referenzzustand abweichende aquatische Lebensgemeinschaften ein. Bei der Erstellung der Gewässerstrukturkarte wurden methodisch das Übersichtsverfahren (Tab. VI 1.1-2) und das Vor-Ort-Verfahren (Tab. VI 1.1-3) für kleine bis mittelgroße Fließgewässer angewandt. Während beim Übersichtsverfahren die Bewertung vorwiegend auf der Grundlage von Luftbildern und thematischen Karten erfolgt, werden die Daten im Vor-Ort-Verfahren weitgehend im Gelände erhoben.

Tab. VI 1.1-2: *Übersichtsverfahren – Gewässerstrukturerfassung*

Gesamtwert	Teilwert	Zwischenbewertung	Erfassungsparameter
Gewässerstruktur	Gewässerbettdynamik (Sohle und Ufer)	Strukturbildungsvermögen	Linienführung
			Uferverbau
			Querbauwerke
			Abflussregelung
			Uferbewuchs
	Auendynamik	Retention	Hochwasserschutzbauwerke
			Ausuferungsvermögen
		Entwicklungspotenzial	Auennutzung
			Uferstreifen

Quelle: *Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 2002*

Flüsse und ihre Auen gehören zu den am intensivsten genutzten, gleichzeitig aber ökologisch besonders wichtigen Landschaften. Sie sind Lebensadern für den Menschen und für den Naturhaushalt. Die Abb. VI 1.1-1 zeigt einen hohen Anteil an deutlich bis vollständig veränderten Gewässerabschnitten. Nur 21 Prozent der deutschen Flüsse und Bäche – überwiegend in weniger besiedelten Regionen – sind noch in einem naturnahen Zustand, d.h. vom Menschen wenig bis mäßig verändert. Insgesamt wurden 33 000 Kilometer Fließgewässer untersucht und bewertet. Die Ergebnisse werden in 7 Stufen von Klasse 1 (unverändert) bis Klasse 7 (vollständig verändert) dargestellt (Abb. VI 1.1-2).

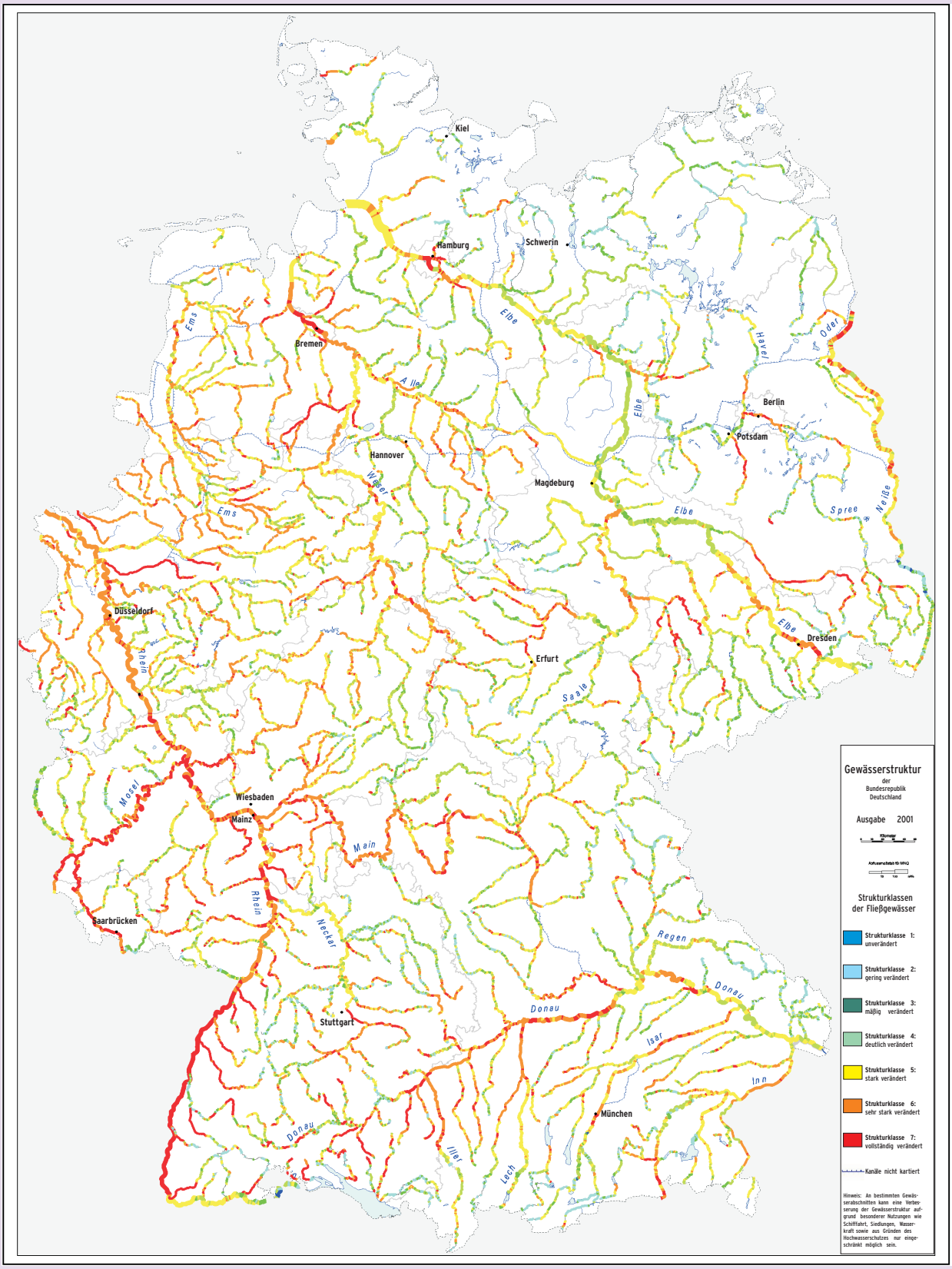
Tab. VI 1.1-3: *Vor-Ort-Verfahren - Gewässerstrukturerfassung*

	Bereich	Hauptparameter	funktionale Einheit	Einzelparameter
Gesamtbewertung	Sohle	Laufentwicklung	Krümmung	Laufkrümmung
				Längsbänke
				besondere Laufstrukturen
			Beweglichkeit	Krümmungserosion
				Profiltiefe
				Uferverbau
		Längsprofil	natürliche Längsprofilelemente	Querbänke
				Strömungsdiversität
				Tiefenvarianz
			anthropogene Wanderbarrieren	Querbauwerke
				Verrohrungen
				Durchlässe
				Rückstau
		Sohlenstruktur	Art und Verteilung der Substrate	Substrattyp
				Substratdiversität
				besondere Sohlstrukturen
			Sohlverbau	Sohlverbau
	Ufer	Querprofil	Profiltiefe	Profiltiefe
			Breitenentwicklung	Breitenerosion
				Breitenvarianz
			Profilform	Profilform
		Uferstruktur	naturraumtypische Ausprägung	besondere Uferstrukturen
			naturraumtypischer Bewuchs	Uferbewuchs
			Uferverbau	Uferverbau
	Land	Gewässerumfeld	Gewässerrandstreifen	Gewässerrandstreifen
			Vorland	Flächennutzung
				sonstige Umfeldstrukturen

Quelle: *Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 2002*

Der nur noch geringe Anteil von naturnahen Gewässerstrecken ist das Ergebnis wasserbaulicher Maßnahmen an den meisten der heute hydromorphologisch veränderten Gewässern. So wurden z.B. die Lauflängen verkürzt, die Ufer verbaut, Stauanlagen errichtet, Wasser in Kanäle ausgeleitet und Hochwasserschutzbauwerke, wie z.B. Deiche, angelegt. Zusätzlich wurden umfangreiche Entwässerungsmaßnahmen durchgeführt. In vielen Gewässern wurde die Sohle zur Verbesserung des Wasserabflusses und damit zur Verminderung der Überschwemmungshäufigkeit eingetieft.

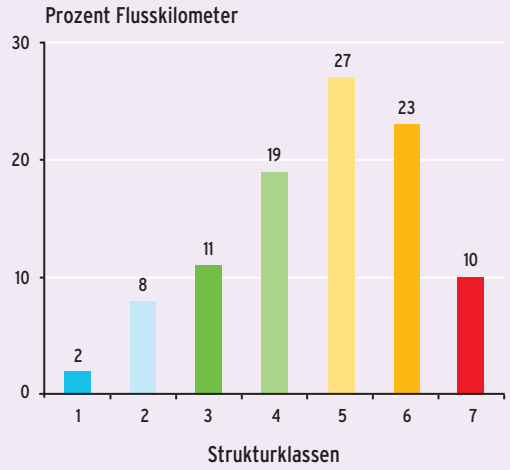
Abb. VI 1.1-1: *Gewässerstrukturkarte*



Quelle: *Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Darstellung Umweltbundesamt 2001*

Bei der Mehrzahl der Flüsse und Bäche haben die Folgen des Ausbaus und der Unterhaltungsarbeiten zu einer erheblichen Veränderung der Strukturen geführt. Dies zeigt sich besonders an den großen Flüssen. Sie sind i.d.R. zugunsten der Schifffahrt und der Wasserkraftnutzung mit Wehranlagen und Schleusen ausgebaut worden. Ferner wurden ihre Überschwemmungsgebiete meist eingedeicht. Dies

Abb. VI 1.1-2: *Verteilung der bewerteten Gewässerstrecken (ca. 33 000 km) auf Strukturklassen 2001*



Quelle: *Umweltbundesamt, Daten der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, 2002*

erklärt ihre überwiegende Zuordnung zu den Klassen stark verändert (5) bis vollständig verändert (7). Von den großen Flüssen bilden die mittlere Elbe und die Donau unterhalb der Isarmündung eine Ausnahme. Die Donau – dort noch freifließend – wird als deutlich verändert (4), der Mittellauf der Elbe als deutlich verändert (4) bis mäßig verändert (3) eingestuft.

Die meisten der kleineren Flüsse und Bäche in den Mittelgebirgen, den Hügelländern und der Tiefebene sind in der Vergangenheit ebenfalls zugunsten der Wasserkraft, zum Schutz von Siedlungsgebieten, Verkehrswegen oder zur landwirtschaftlichen Nutzung (z.B. Melioration) ausgebaut worden. Sie werden regelmäßig unterhalten. Damit werden die morphodynamischen Prozesse (Eigenentwicklung) unterbunden. Für diese Gewässer überwiegen deutlich veränderte (4) bis vollständig veränderte (7) Zustände.

Unveränderte (1) bis mäßig veränderte (3) Bach- und Flussabschnitte finden sich noch im Alpen- und Voralpengebiet, in den Granit- und Gneislandschaften des Bayerischen Waldes, in den Oberlaufabschnitten der Mittelgebirge, in den Heidelandschaften der norddeutschen Tiefebene und den eiszeitgeprägten Landschaften in Mecklenburg-Vorpommern. In diesen Landschaftsräumen sind die naturräumlichen Voraussetzungen wie Boden und Klima oder auch das Relief z.T. so beschaffen, dass der Gewässerausbau und die Melioration der gewässerbegleitenden Flächen weitgehend unterblieben sind.

[1] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA): Gewässergüteatlas der Bundesrepublik Deutschland – Gewässerstruktur in der Bundesrepublik Deutschland 2001

Ausgewählte Hochwasserereignisse

Hochwasser sind als Teil des Wasserkreislaufes primär natürliche Ereignisse im jahreszeitlichen Verlauf. Sie sind abhängig von der Stärke der Niederschläge und deren zeitlicher und räumlicher Verteilung in Relation zur Größe und Struktur des Einzugsgebietes und dessen Abfluss- und Speichereigenschaften.

Hochwasserereignisse sind in der jüngsten Zeit durch anthropogene Eingriffe in das natürliche Abflussregime in ihren Auswirkungen auf den Naturhaushalt wesentlich verschärft worden. Dieser von Menschen verursachte Anteil am Hochwasser ist in langjährigen Prozessen entstanden. Dies betrifft sowohl Ausbaumaßnahmen von Fließgewässern (flussnahe Eindeichungen, Flussbegradigungen, Staustufenbau) als auch Flächenversiegelung infolge stetiger Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen, Siedlungsentwässerung, Intensivierung der Landwirtschaft (Beseitigung von Auen, Bodenverdichtung, Melioration, Versiegelung, Verschlämmung) und die Nutzung und Bebauung hochwassergefährdeter Bereiche. Das an die Landschaft und die jahreszeitlichen Rhythmen angepasste Abflussverhalten der Gewässer wurde elementar verändert. Speziell der Ausbau in Form von Staustufen führte zwangsläufig zu einem erheblichen Verlust der an zeitweise Überschwemmungen angepassten und darauf angewiesenen Auenvegetation. So ging beispielsweise seit der Tullaschen Rheinbegradigung Mitte des 19. Jahrhunderts bis heute am Oberrhein zwischen Basel und Karlsruhe die Zahl der Auenstandorte durch den Ausbau um 87 % zurück. Insgesamt verringerte sich die Überschwemmungsfläche am Oberrhein um 60 % (130 km^2). Flussbegradigungen führten zu einer Verkürzung der Lauflänge – am Oberrhein um ca. 82 km, am Niederrhein um ca. 23 km – und damit zu einer Abflussbeschleunigung. Die Fließzeit der Hochwasserwelle im Rhein hat sich beispielsweise auf der Strecke Basel/Karlsruhe von 64 auf 23 Stunden verringert. An der Donau konnte eine Hochwasserverschärfung als Folge bedeutender anthropogener Eingriffe seit 1845 quantitativ nachgewiesen werden. So kam es am Pegel Kehlheim verschiedentlich zu einer Scheitelaufhöhung um über 10 % und einer Laufzeitverkürzung von ca. 20 Stunden. An der Elbe wurden auf dem Gebiet der Bundesrepublik seit dem 12. Jahrhundert Eindeichungen vorgenommen, so dass von der früher 6 172 km^2 umfassenden Überschwemmungsfläche heute noch ein Gebiet von 838 km^2 für den Rückhalt von Hochwasser zur Verfügung steht. Die Reduzierung der Überschwemmungsflächen um 86 % geht einher mit einer verminderten Retention im Auenbereich. Gleichzeitig führte auch an der Elbe die Verkürzung der Lauflänge um 55 km auf dem

Gebiet der Tschechischen Republik sowie um 60 km in Deutschland durch das Abtrennen von Flussbögen zu einer erhöhten Fließgeschwindigkeit. Da Ausbaumaßnahmen nicht nur an den großen Flüssen, sondern auch an Nebenflüssen und kleineren Fließgewässern im Einzugsgebiet durchgeführt wurden, kommt es zusätzlich immer häufiger zu ungünstigen Überlagerungen der Hochwasserwellen der Haupt- und Nebenflüsse. Der Wegfall natürlicher Überschwemmungsgebiete, die gravierende Zunahme der Fließgeschwindigkeit durch die Konzentration des Abflusses vieler Flusszweige in einem Flussbett, die Verkürzung der Flussläufe und steigendes Gefälle führten also zu einer frappierenden Reduktion der Laufzeiten der Hochwasserwellen, die heute erheblich schneller, steiler und mit höheren Volumina pro Zeiteinheit abfließen. Dadurch wurde der Hochwasserschutz flussabwärts wesentlich gemindert. Gleichzeitig erfolgte durch den Menschen eine Werteansammlung am Gewässer und schuf somit zusätzliche Gefahren und Schadensrisiken. Allein durch technische Hochwasserschutzmaßnahmen wird man nicht ausreichend gegen zukünftige schadensträchtige Überschwemmungen Vorsorge treffen können. Im Gegenteil: Technische Maßnahmen führen oft nur zu einer räumlichen Problemverlagerung, mitunter sogar zu einer Problemverstärkung. In den letzten Jahren trat das Problem der Hochwasser und der damit verbundenen Schäden in Deutschland aber auch weltweit immer stärker in das Blickfeld der Öffentlichkeit. Besonders die Überflutung der historischen Altstadt in Dresden durch das Elbehochwasser im August 2002, die spektakulären Deichbrüche 1997 an der Oder und auch 1999 an der Donau zeigten, dass große Schäden und Gefahren in vermeintlich geschützten Gebieten hinter den Deichen auftreten können.

Das Elbehochwasser im August 2002

Meteorologisch war der Sommer 2002 durch wiederholte hochreichende Kaltluftvorstöße ins Mittelmeergebiet und dem daraus resultierenden Rücktransport feuchtwarmer Luftmassen aus dem Mittelmeerraum Richtung Norden gekennzeichnet. Diese Tiefdruckgebiete sorgten in Zentraleuropa für extreme Niederschläge – so auch im Einzugsgebiet der Elbe. Bereits in den ersten zehn Tagen des Monats August fiel in weiten Teilen des Einzugsgebietes der im langjährigen Mittel zu erwartende Monatsniederschlag. Stellenweise erreichten die Niederschlagssummen das 1,5 – 2 fache des August-Mittelwertes. Durch diese Starkregenereignisse kam es zu einer Wassersättigung des Bodens, so dass eine weitere Versickerung der Niederschläge nicht mehr möglich war und das Wasser direkt oberflächlich abfloss. Die Niederschläge vom 11. und 12. August 2002 sind als der entscheidende Auslöser des Elbehochwassers anzusehen. Auch während dieser Regenperiode wurden erneut Niederschlagshöhen erreicht, die weit über den üblichen Monatsmittelwerten lagen. Beispielsweise betrug der Niederschlag im 7 300 km^2 großen Einzugsgebiet der Mulde zwischen dem 01.08.2002 und 10.08.2002 71 mm. Außerdem fielen zwischen dem 11.08.2002 und 13.08.2002 nochmals 177 mm Regen. Der Vergleich mit dem Mittelwert von 73 mm für den Monat August, bestimmt für den Zeitraum 1961–1990, verdeutlicht die extreme Ergiebigkeit der Regenereignisse.

Wegen dieser meteorologischen Rahmenbedingungen setzte das Elbehochwasser bereits bei mittleren Abflüssen ein. Zusätzlich war für den Pegelstand der Elbe der Abflussbeitrag aus den Nebenflüssen entscheidend. Hierbei zeigte sich, dass die Mulde mit einem Durchfluss von 1 500 m^3/h am Pegel in Bad Düben den größten Zufluss verursachte. Infolge dieser Wassermengen traten die Elbe und ihre Nebenflüsse nicht nur über die Ufer, es kam zusätzlich zu über 100 Deichbrüchen, die zu flächenhaften Überschwemmungen führten. Die größte durch Deichbrüche überschwemmte Fläche erstreckte sich bei Dautschen in Sachsen auf einer Strecke von ca. 30 km und nahm insgesamt eine Fläche von 139,9 km^2 ein. Berechnungen zeigten, dass durch diese unbeabsichtigte Überflutung der Hochwasserwelle eine Wassermenge von ca. 300 Mio. m^3 entzogen wurde. Daraus resultierte eine Abnahme des Wasserstandes am Scheitel des Hochwassers in Wittenberg um etwa 30 cm.

Zur Entlastung der weiter stromab gelegenen Deiche wurde ab dem 18.08.2002 der Gesamtabfluss aus der Havel in die Elbe durch Schließung der Wehre bei Quitzöbel zurückgehalten. Dadurch konnte eine weitere Reduzierung des Wasserstandes um ca. 10 cm erreicht werden. Beginnend mit den Abendstunden des 20.08.2002 wurden die Niederungen im Bereich der Havelmündung geflutet. Durch diese Maßnahme konnten zusätzlich 75,6 Mio. m^3 zurückgehalten werden, so dass eine weitere Verminderung des Scheitelwasserstandes um 41 cm eintrat.

Durch die Überflutung von Deponien und Altstandorten, durch die Flutung der Kanalisation etc. kommt es während eines Hochwassers häufig zu verstärkten Stoffeinträgen in die Gewässer. Dabei sind eine Vielzahl von Schadstoffen, z.B. Schwermetalle, an Schwebstoffe gebunden, so dass die stärkste Mobilisierung im Verlauf der ansteigenden Hochwasserwelle erfolgt. So zeigten Messungen an der Probenahmestelle in Magdeburg am 16.08. und 17.08.2002 eine erhöhte Schadstoffbelastung der Schwebstoffe mit den Schwermetallen Arsen und Blei. Als Quelle dieses Schwermetalleintrages in die

Elbe werden Altlasten aus dem Einzugsgebiet der Mulde vermutet. Bis zum 29.08.2002 konnte eine Verminderung der Belastung durch Arsen und Blei um 50 % festgestellt werden, wobei allerdings die Normalwerte bis dahin noch nicht wieder erreicht waren.

Weitere Untersuchungen wurden für organische Schadstoffe durchgeführt. Die Schwebstoffe der Elbe zeigten keine höheren Belastungen mit dieser Schadstoffgruppe. Es ist allerdings davon auszugehen, dass hier Verdünnungseffekte aufgetreten sind. An der Messstelle in Magdeburg wurden des weiteren Hinweise auf eine Verunreinigung des Elbewassers mit Fäkalien gefunden. Starke Verschmutzungen mit Mineralölen, wie sie beim Oderhochwasser 1997 beobachtet wurden, konnten nicht festgestellt werden.

Zur historischen Einordnung dieses Hochwasserereignisses ist ein Blick in die Geschichte der Elbehochwasser hilfreich. So zeigt sich für den Pegel in Dresden, dass der im August 2002 erreichte Wasserstand von 9,40 m der höchste seit Beginn der Hochwasser-Aufzeichnungen im Jahr 1275 war. In den vergangenen Jahrhunderten gab es wiederholte Wechsel zwischen Perioden mit häufigeren Winterhochwassern bzw. Sommerhochwassern. Für die letzten 200 Jahre kann nachvollzogen werden, dass die entscheidenden Hochwasser im Frühjahr auftraten. Während in den letzten 40 Jahren nochmals eine Verlagerung der größten Abflüsse in die Sommermonate erfolgte, nahmen die Abflussmaxima in den Wintermonaten ab. Mit Hilfe der Scheitelabflüsse können Jährlichkeiten für die Wiederkehr eines Hochwassers einer bestimmten Intensität abgeschätzt werden. So wird für Dresden davon ausgegangen, dass es sich bei dem Elbehochwasser 2002 um ein 200jähriges Hochwasser handelte. Werden hingegen für Wittenberg die theoretischen Abflusshöhen, d.h. ohne die Berücksichtigung der Rückhalteeffekte durch die Deichbrüche rekonstruiert, ergibt sich eine Jährlichkeit von 300 bis 400 Jahren [1].

Das Pfingsthochwasser in Bayern 1999

Im Süden Bayerns ereignete sich während der Pfingsttage 1999 das größte Hochwasser der letzten 100 Jahre. In Bayern treten hochwassergefährliche Niederschläge regelmäßig bei bestimmten Wetterlagen am Alpenrand und über den Mittelgebirgen auf.

Am 11.05.1999 lag die Front eines Tiefdruckgebietes über Polen quer über Süddeutschland. Südlich davon lag ein Niederschlagsgebiet mit mäßigem Regen, der bis in Höhen von 2 000 m zu einem Abtauen der Schneedecke führte und die Schneeschmelze verstärkte. Wegen der hohen Wasserzufuhr kam es zu einer Wassersättigung des Bodens.

Die zwischen dem 20. und 22. Mai 1999 aufgetretenen, starken und langanhaltenden Niederschläge konnten infolge der vorgesättigten Böden nicht versickern und kamen fast vollständig zum Abfluss. Die Abflüsse aus den alpinen Einzugsgebieten waren in den Oberläufen von Iller, Lech, Ammer und Isar mit einer statistischen Wiederkehr von bis zu 300 Jahren außerordentlich hoch. Da die relevanten Speicher noch rechtzeitig vor den Starkniederschlägen abgesenkt wurden, konnten sie einen Teil des Zuflusses zurückhalten. So konnten z.B. die Abflussspitzen im Lech zu 60 % und die der Isar zu 98 % zurückgehalten und so das Ausmaß der Schäden gemindert werden.

Am 23.05.1999 erreichten die Hochwasserscheitel des Lech und der Iller die Donau. Unterhalb der Lechmündung entstand dadurch ein langgestreckter Hochwasserscheitel. Am Pegel Ingolstadt wurde am 24.05.1999 mit 2 200 m^3/s der bisher höchste beobachtete Abfluss seit 1821 um ca. 10 % überschritten. Der Druck der Wassermengen konnte sich nicht auf Auengebiete als natürliches Überschwemmungsland entladen, es kam daher zu einer Aufstauung der Flüsse. Der technische Hochwasserschutz in Bayern basiert auf einem hundertjährigen Bemessungshochwasser, so dass die Hochwasserspitzen den Ausbaugrad der Hochwasserdeiche teilweise ganz erheblich überstiegen.

Im Landkreis Kehlheim überschritt die Donau mit der Rekordmarke von fast 8 Metern den Normalpegel um mehr als die Hälfte. Beim Überfließen der Dammkrone setzte eine sehr rasche Erosion von oben ein. Durch die enormen Kräfte brach am 24.05.1999 der Deich in Neustadt auf einer Länge von 150 m. Dabei wurde eine Fläche von 20 km^2 2,50 m tief unter Wasser gesetzt. Es entstanden erhebliche Schäden an Gebäuden und Anlagen.

Es kam zum Austritt von Heizöl aus gebrochenen Verbindungsleitungen aufgetriebener Öltanks und aus durch den starken Wasserdruck beschädigten Heizöltanks. Die ausgelaufene Menge an Heizöl in Neustadt wurde mit 2 bis 2,3 Mio. l angegeben. Davon konnten ca. 800 000 l sofort zurückgewonnen werden. Ein Teil des ausgelaufenen Heizöls hat sich in den Uferbereichen langsam fließender Entwässerungsgräben konzentriert. Das ausgetretene Heizöl führte auf einer Fläche von 36,6 ha zu Kontaminationen des Bodens mit Mineralöl-Kohlenwasserstoffen bis in Tiefen von 90 cm. Bis Ende August wurden mehr als 450 t des kontaminierten Erdreiches abgetragen oder gereinigt. Ferner wurde teilweise

das Grundwasser kontaminiert. Die für Bayern geltenden Sanierungsschwellenwerte wurden nicht erreicht [2].

In einigen Gebieten Bayerns wurden die mikrobiologischen Grenzwerte gem. Trinkwasserverordnung überschritten und Maßnahmen (hauptsächlich Chlorung) eingeleitet, so dass die Trinkwasserversorgung jederzeit gewährleistet war. Es traten Schäden an 37 Abwasserentsorgungsanlagen auf. Ferner musste zeitweise ein Badeverbot wegen erhöhter Nährstofffrachten (30 t Phosphor) erteilt werden. Insgesamt wurde in Bayern eine Fläche von 421 ha Boden durch ausgetretenes Heizöl (eine Ausnahme: Pflanzenschutzmittel) kontaminiert, 74 ha davon besonders stark [2].

Der Tatsache, dass ein wesentlicher Teil der Überschwemmungen nicht direkt durch Oberflächengewässer, sondern durch aufsteigendes Grundwasser verursacht wird – beim Pfingsthochwasser 1999 in Südbayern waren das über 50 % – wird bei der Erstellung von Gefahren- und Risikokarten [3] bisher keine Rechnung getragen, obwohl dies gerade in urbanen Gebieten sehr wichtig wäre.

Umweltschäden der Hochwasserereignisse und Vermeidungsstrategien

Nach vorläufigen Angaben beläuft sich der Schaden des Elbehochwassers auf ca. 9,2 Mrd. EUR. Der Schaden in privaten Haushalten beträgt dabei 2,1 Mrd. EUR sowie 1,7 Mrd. EUR in der gewerblichen Wirtschaft. Die staatliche Infrastruktur im Überschwemmungsgebiet wurde im Wert von 3,4 Mrd. EUR geschädigt.

Das am stärksten durch das Elbehochwasser betroffene Bundesland Sachsen korrigierte im September 2003 seine Flutschaden-Schätzungen auf 8,6 Mrd. EUR, so dass aktuell von einer Gesamtschadenssumme in Deutschland in Höhe von 11,6 Mrd. EUR ausgegangen werden muss.

Der Gesamtschaden des Hochwassers in Bayern belief sich im Jahr 1999 auf 656,7 Mio. DM (335,8 Mio. EUR). Davon entfielen u.a. 54 % der Kosten auf Betriebs- und Privatvermögen und über 30 % der Kosten auf Gewässer und Gewässerbauten [4].

Sowohl das Pfingsthochwasser der Donau als auch das Sommerhochwasser der Elbe haben wieder die Grenzen und Möglichkeiten technischer Schutzeinrichtungen gezeigt. Um eine Erhöhung des Schadenspotenzials hinter den Deichen zu minimieren, sind die Anforderungen des vorbeugenden Hochwasserschutzes zukünftig stärker auf allen Entscheidungsebenen zu berücksichtigen. Wichtige Ansatzpunkte zur Begrenzung anthropogen verstärkter Hochwasser sind die Strategie des natürlichen Gebietswasserrückhaltes in der Fläche (Sicherung und Rückgewinnung von natürlichen Retentionsräumen, Renaturierung von Gewässern und Auen, standortgerechte Land- und Forstwirtschaft) sowie die Einflussnahme auf die Nutzungen in den überschwemmungsgefährdeten Bereichen. Die letzten Ereignisse unterstreichen mit Nachdruck die wasserwirtschaftliche Forderung, Überschwemmungsgebiete von baulichen Nutzungen weitestgehend freizuhalten. Langfristig wirksam sind nur integrierende Maßnahmen auf den Gebieten der Wasserwirtschaft und des Deichbaues, der Bauordnung und der räumlichen Planung sowie der Information der Öffentlichkeit. Dabei fallen die Erfordernisse der internationalen Zusammenarbeit, vor allem bei der Erstellung von flussgebietsbezogenen Hochwasseraktionsplänen, besonders ins Gewicht. Alle diese Aspekte sind Gegenstand des von der Bundesregierung am 03.03.2004 vorgelegten und vom Bundestag am 01.07.2004 beschlossenen Gesetzes zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes. Nach umfangreichen Beratungen konnte am 17.03.2005 der Einigungsvorschlag des Vermittlungsausschusses durch den Bundestag und am 18.03.2005 durch den Bundesrat verabschiedet werden. Das Gesetz, das am 10. Mai 2005 in Kraft getreten ist, ändert und ergänzt mehrere Bundesgesetze im Sinne effektiverer und stringenter Vorgaben für den vorbeugenden Hochwasserschutz. Schwerpunkte sind die vermehrte Festsetzung von Überschwemmungsgebieten bis 2010 bzw. 2012, das bundesweite Verbot der Planung neuer Baugebiete in Überschwemmungsgebieten (Ausnahmen sind nur bei der Einhaltung von neun enggefassten Bedingungen möglich), das Aufstellen von Hochwasserschutzplänen bis 2009 sowie die Festlegung von überschwemmungsgefährdeten Gebieten, z.B. hinter Deichen.

[1] Internationale Kommission zum Schutz der Elbe: Dokumentation des Hochwassers vom August 2002 im Einzugsgebiet der Elbe
[2] Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen: Bericht zum Pfingsthochwasser 1999: Analyse des Hochwassers, Umweltauswirkungen und Konsequenzen für den Hochwasserschutz, 12.10.1999
[3] Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR): Grundlagen und Strategie zum Aktionsplan Hochwasser. 1999
[4] Anhörung Hochwasser Pfingsten 1999 und die Folgen. Bericht der Bayerischen Staatsministerien für Wirtschaft, Verkehr und Technologie, für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten und der Finanzen zur finanziellen Abwicklung der Hilfeprogramme, 11/1999

VI 1.2 Biologische Gewässergüte

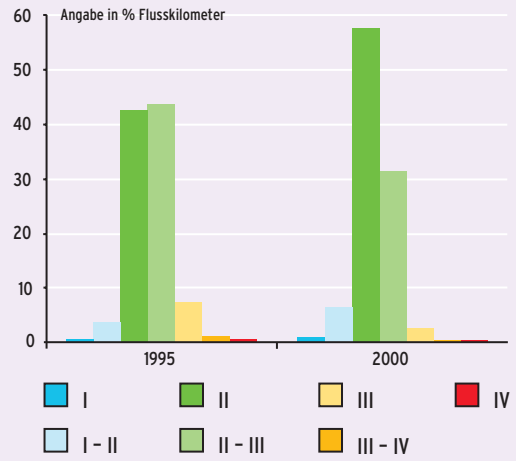
Die biologische Gewässergütekarte, die die Ergebnisse der saprobiellen Gewässergüteklassifizierung darstellt, wird seit 1975 alle 5 Jahre von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) publiziert [1]. Der Anteil der kartierten Gewässerstrecken, der die Güteklasse II und besser aufweist, hat sich von 47 % im Jahr 1995 auf 65 % im Jahr 2000 erhöht. Die Gesamtlänge der kartierten Flüsse beläuft sich auf etwa 30 000 km Gewässernetz (Tab. VI 1.2-1 und Abb. VI 1.2-1).

Tab. VI 1.2-1: *Biologische Güteklassifizierung (Anteil Flusskilometer am Gewässernetz von ca. 30 000 km)*

Güteklasse	Grad der Belastung	1995	2000
I	unbelastet bis gering belastet	0,7 %	0,8 %
I-II	gering belastet	3,8 %	6,5 %
II	mäßig belastet	42,7 %	57,8 %
II-III	kritisch belastet	43,6 %	31,4 %
III	stark verschmutzt	7,4 %	2,8 %
III-IV	sehr stark verschmutzt	1,1 %	0,3 %
IV	übermäßig verschmutzt	0,7 %	0,4 %

Quelle: *Umweltbundesamt, Daten der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 2002 a*

Abb. VI 1.2-1: *Biologische Gewässergüteklassifikation 1995 und 2000 (Anteil Flusskilometer am Gewässernetz von ca. 30 000 km)*



Quelle: *Umweltbundesamt, Daten der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 2002 a*

Wie der Vergleich der biologischen Gütekarten 1975, 1990 und 2000 zeigt, haben die seit den 70er Jahren verbesserten und intensivierten Abwasserreinigungsmaßnahmen ihren Niederschlag in einer deutlichen Verbesserung der biologischen Gewässergüte gefunden (Abb. VI 1.2-2).

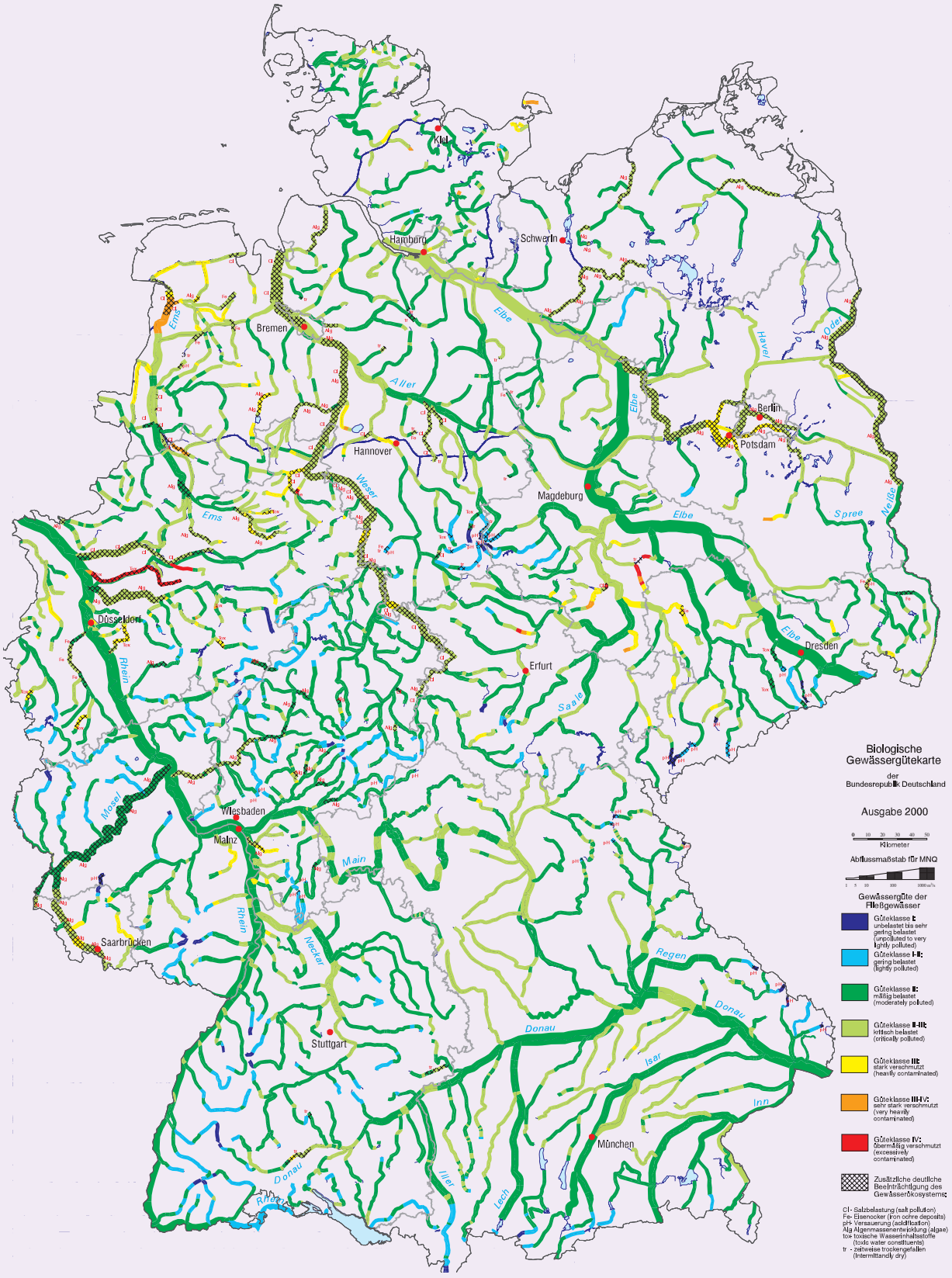
Die Anforderungen der im Dezember 2000 in Kraft getretenen EG-Wasserrahmenrichtlinie an die Zustandsklassifikation gehen weit über die bisherige Praxis hinaus. Mittels der Beschreibung des Zustandes der Pflanzen und Tiere in Flüssen, Seen, Übergangsgewässern und Meeren soll der ökologische Zustand eines Gewässers charakterisiert werden. Der Bezugsmaßstab für die Bewertung sind dabei gewässertypspezifisch definierte Referenzbedingungen. Anhand des Grades der Abweichungen von diesen Referenzbedingungen wird die ökologische Zustandsklasse bestimmt. Die bisherige Bewertungspraxis muss daher zum einen den Umstand berücksichtigen, dass sich die Gewässer natürlicherweise in ihren charakteristischen Lebensgemeinschaften und in ihrer Empfindlichkeit gegenüber anthropogenen Einflüssen erheblich unterscheiden. Beispielsweise treten im Hochgebirge andere aquatische Lebensgemeinschaften auf als im Flachland. Flüsse, Seen, Übergangsgewässer (Ästuare) und Küstengewässer wurden daher in Gewässertypen unterteilt. Zum anderen muss die ökologische Bewertung auf eine breitere Basis gestellt werden. Die Entwicklung neuer biologischer Untersuchungsverfahren wurde daher initiiert, um die Anforderungen der ökologischen Gewässerüberwachung der Wasserrahmenrichtlinie zu erfüllen. Heute liegen Bewertungsverfahren für alle von der Wasserrahmenrichtlinie geforderten biologischen Komponenten vor (Makrozoobenthos, Makrophyten/Phytobenthos, Fischfauna, Phytoplankton, Makroalgen/Angiospermien). Die Verfahren werden derzeit auf ihre Praxistauglichkeit erprobt. Da die für die Bewertung vorgegebenen Organismengruppen unterschiedliche Lebensraumansprüche und Indikationseigenschaften besitzen, ist davon auszugehen, dass die z. T. sehr komplexen Wirkungen einzelner Belastungen künftig sehr viel besser als bisher erfasst werden können (Abb. VI 1.2-3).

[1] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA): Gewässergüteatlas der Bundesrepublik Deutschland – Biologische Gewässergütekarte 2000, Hannover, 2002

VI 1.3 Chemische Beschaffenheit

Die chemische Beschaffenheit wird durch punktuelle (z.B. Abwassereinleitung) und diffuse Stoffeinträge (z.B. Einträge aus der Landwirtschaft) belastet. Die Beurteilung dieser Belastungen erfolgt in Deutschland über eine chemisch-physikalische Gewässergüteklassifikation, die die LAWA 1998 veröffentlicht hat (Tab. VI 1.3-1). In der Klassifikation stellen Zielvorgaben (ZV) für organische Umweltchemikalien und Schwermetalle die Werte der maximalen Auslenkung in der Güteklasse II dar. Die Zielvorgaben sind fachlich begründete Orientierungswerte für eine gute Gewässerqualität, die rechtlich nicht verbindlich sind. Rechtlich verbindlich sind hingegen die zukünftigen Umweltqualitätsnormen der Wasserrahmenrichtlinie, die sich im Wesentlichen auf

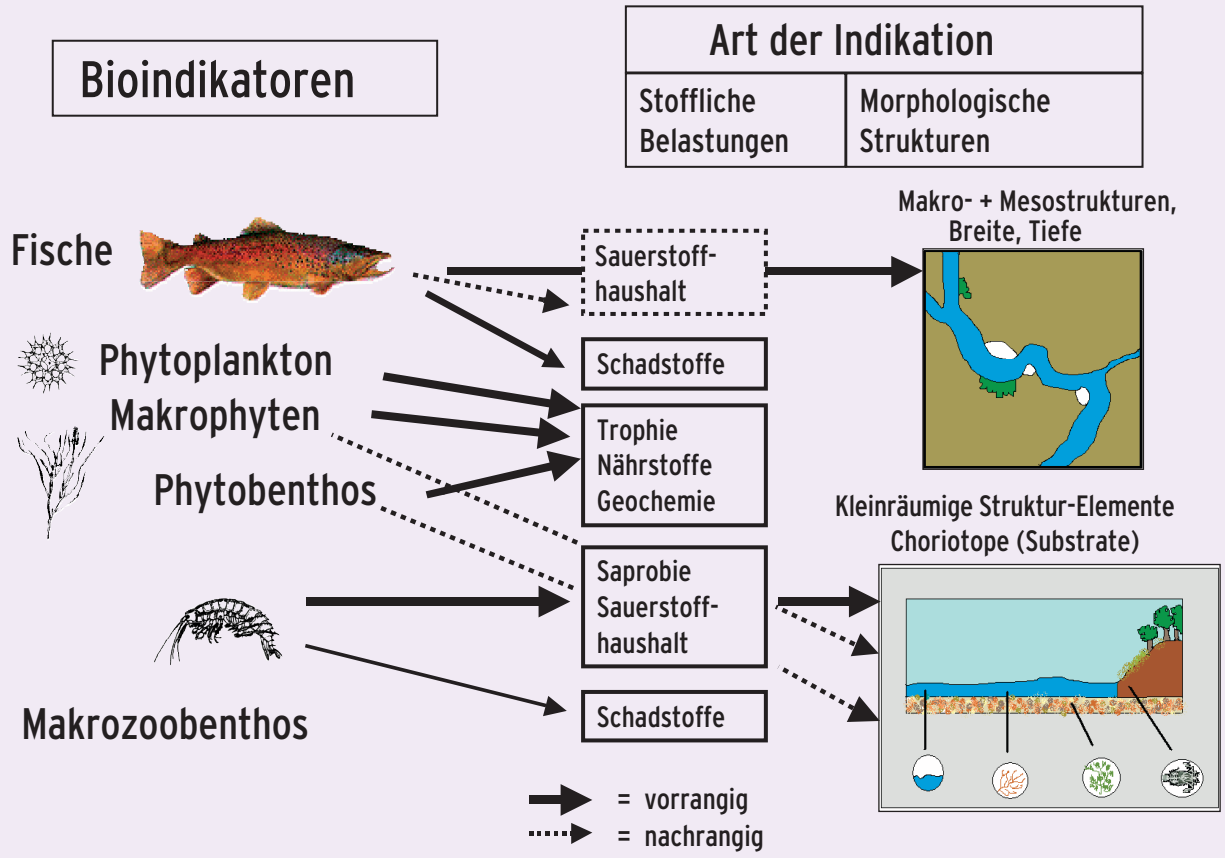
Abb. VI 1.2-2: *Biologische Gewässergütekarte 2000*



Quelle: *Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Darstellung Umweltbundesamt 2000*

den Werten der Zielvorgaben zum Schutz der aquatischen Lebensgemeinschaften begründen. In der Gewässergüteklassifikation wurde die jeweils strengste Zielvorgabe für die Schutzgüter aquatische Lebensgemeinschaften, Trinkwasserversorgung, Schwebstoffe und Sedimente und Fischerei als Klasse II definiert. Für alle anderen Kenngrößen (z.B. Nährstoffe) wurde die Güteklasse II aus den bisherigen

Abb. VI 1.2-3: *Indikationseigenschaften verschiedener Organismengruppen*



Quelle: *nach Braukmann et al. verändert 2001*

Tab. VI 1.3-1: *Chemische Gewässergüteklassifikation*

Güte-klasse	Beschreibung der Güteklassen
I	anthropogen unbelastet: geogener Hintergrundwert (bei Naturstoffen) bzw. „Null“ (bei Xenobiotika)“
I-II	sehr geringe Belastung: bis halber Wert der Zielvorgabe
II	mäßige Belastung: Einhaltung der Zielvorgabe
II-III	deutliche Belastung: bis zweifacher Wert der Zielvorgabe
III	erhöhte Belastung: bis vierfacher Wert der Zielvorgabe
III-IV	hohe Belastung: bis achtfacher Wert der Zielvorgabe
IV	sehr hohe Belastung: größer achtfacher Wert der Zielvorgabe

Quelle: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 1998

Bewertungsansätzen der Länder abgeleitet (siehe Tab. VI 1.3-2).

Emissionen in die Oberflächengewässer, prioritäre Verursacher und Maßnahmen

Einträge von biologisch abbaubaren Stoffen können den Sauerstoffhaushalt der Gewässer belasten. Nährstoffe können zu Algenblüten führen oder Schadstoffe, wie Pflanzenschutzmittel und Schwermetalle, auf Organismen giftig wirken. Nutzungen der Gewässer, wie Baden, Trinkwassergewinnung u.ä. werden dadurch beeinträchtigt. Mit der auf Ebene der Europäischen Union im Jahre 2000 in Kraft getretenen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) soll bis 2015 ein guter ökologischer und chemischer Zustand der Gewässer erreicht werden. Dies erfordert eine schrittweise Reduzierung bis hin zur Beendigung der Einleitungen von Nähr- und Schadstoffen in die Gewässer. Ziel ist es, für prioritäre gefährliche Stoffe eine Konzentration in der Meeresumwelt zu erreichen, die für natürlich vorkommende Stoffe in der Nähe ihrer Hintergrundwerte liegt und für anthropogene synthetische Stoffe nahe Null ist. Die EU-Mitgliedstaaten sind verpflichtet, Daten über anthropogene Belastungen zu erheben und signifikante Belastungen der Gewässer durch punktuelle und diffuse Quellen auszuweisen. Für die Abschätzung der Anteile aus natürlichen, punktförmigen und diffusen Eintragsquellen werden Modelle eingesetzt und die Ergebnisse mit den Stofffrachten der Flüsse verglichen.

Die Hauptquellen der Nähr- und Schadstoffbelastung der Gewässer sind die Landwirtschaft, kommunale Kläranlagen, Kraftwerke, Verkehr und Indus-

Tab. VI 1.3-2: *Chemisch-physikalische Gewässergüteklassifikation für ausgewählte Kenngrößen*

Güte-klasse	Ges.P [1] mg/l	NO_3-N [1] mg/l	NH_4-N [1] mg/l	Ges. N [1] mg/l	AOX 1) µg/l	Pb [2] mg/kg A,S	Cd [2] mg/kg A	Cr [2] mg/kg S	Cu [2] mg/kg S	Ni [2] mg/kg S	Hg [2] mg/kg A	Zn [2] mg/kg S
I	≤ 0,05	≤ 1,0	≤ 0,04	≤ 1,0	„0“	≤ 25	≤ 0,3	≤ 80	≤ 20	≤ 30	≤ 0,2	≤ 100
I-II	≤ 0,08	≤ 1,5	≤ 0,10	≤ 1,5	≤ 10	≤ 50	≤ 0,6	≤ 90	≤ 40	≤ 40	≤ 0,4	≤ 150
II	≤ 0,15	≤ 2,5	≤ 0,30	≤ 3,0	≤ 25	≤ 100	≤ 1,2	≤ 100	≤ 60	≤ 50	≤ 0,8	≤ 200
II-III	≤ 0,30	≤ 5,0	≤ 0,60	≤ 6,0	≤ 50	≤ 200	≤ 2,4	≤ 200	≤ 120	≤ 100	≤ 1,6	≤ 400
III	≤ 0,60	≤ 10	≤ 1,20	≤ 12	≤ 100	≤ 400	≤ 4,8	≤ 400	≤ 240	≤ 200	≤ 3,2	≤ 800
III-IV	≤ 1,20	≤ 20	≤ 2,40	≤ 24	≤ 200	≤ 800	≤ 9,6	≤ 800	≤ 480	≤ 400	≤ 6,4	≤ 1600
IV	> 1,20	> 20	> 2,40	> 24	> 200	> 800	> 9,6	> 800	> 480	> 400	> 6,4	> 1600

A = Schutzgut „aquatische Lebensgemeinschaften“; S = Schutzgut „Schwebstoffe und Sedimente“

[1] Vergleichswert: i.d.R. 90-Perzentil

[2] Vergleichswert: i.d.R. 50-Perzentil

Quelle: *Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 1998*

triebetriebe. Jedoch ist die Gewässerbelastung, verursacht durch die Einleitung von Abwasser aus den Kommunen und der Industrie, in den letzten Jahren erheblich zurückgegangen. Dieser Rückgang ist u.a. durch Produktionsaufgaben der in den neuen Ländern angesiedelten chemischen Industrie zurückzuführen, der zu einer Verringerung der Nähr- und Schadstoffeinträge in die Oberflächengewässer geführt hat. Darüber hinaus erforderten Änderungen im Wasserhaushaltsgesetz Maßnahmen im kommunalen und industriellen Bereich und bewirkten dadurch insgesamt eine Verringerung der Emissionen aus Punktquellen. In den alten und neuen Ländern führte dies durch verbesserte Abwasserreinigungstechniken, konsequente Anwendung des „Standes der Technik“ und Abwasservermeidung zu einer überdurchschnittlichen Abnahme der Schwermetallemissionen. Verbesserungen im industriellen Bereich sind vor allem seit Anfang der 90er Jahre – also seit Inkrafttreten der Abwasserverwaltungsvorschriften in den Industriebranchen – spürbar.

Der überdurchschnittliche Rückgang der Nähr- und Schadstoffeinträge in die Oberflächengewässer aus Punktquellen hat dazu geführt, dass die Einträge aus diffusen Quellen und damit vor allem die aus der Landwirtschaft stammenden Belastungen an den Gesamteinträgen dominieren. Dies führt immer noch zu Überschreitungen der von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) zum Schutz oberirdischer Binnengewässer erstellten LAWA-Zielvorgaben (Gewässergüteklasse II) und zur Nichterfüllung des Ziels der WRRL, bis 2015 einen guten ökologischen und chemischen Zustand der Gewässer zu erreichen. Ein Teil der Gewässerbelastungen aus der Landwirtschaft gelangt durch Erosion und Abschwemmung von Bodenpartikeln (vor allem bei Phosphat und Pflanzenschutzmitteln) in die Oberflächengewässer. Bei der Grundwasserbelastung ist in erster Linie die Auswaschung von Nitrat als Folge des Einsatzes stickstoffhaltiger Düngemittel und die Verlagerung von Pflanzenschutzmitteln von Bedeutung. Außerdem werden die Gewässer belastet durch:

- Waschen von Pflanzenschutzgeräten auf Hofflächen mit Kanalisationsanschluss,
- Direkteinleitungen von Düngern, Gülle, Jauche und Pflanzenschutzmittelrestbrühen,
- tierpathogene Krankheitserreger und Tierarzneimittel aus Abschwemmungen von mit Gülle und Jauche gedüngten Flächen und
- Ammoniakentgasung aus der Viehhaltung und bei Gülleausbringung.

Die wichtigste Maßnahme zur Verringerung der Gewässerverschmutzung aus landwirtschaftlichen Quellen ist die Einhaltung der guten fachlichen Praxis, die im landwirtschaftlichen Fachrecht geregelt ist. Hier kommt der Düngeverordnung und den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis im Pflanzen- und Bodenschutz eine besondere Bedeutung zu.

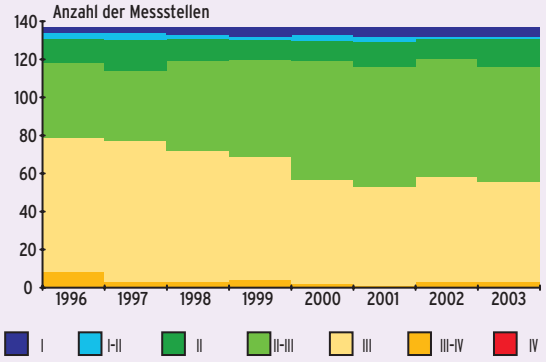
VI 1.3.1 Nährstoffe

Nährstoffe in Fließgewässern

Bei den Nährstoffen ist für Ammonium-Stickstoff und Gesamtphosphor ein abnehmender Belastungstrend erkennbar. Dies ist auf den Neu- und Ausbau von Kläranlagen und bei Gesamtphosphor zusätzlich auf den Einsatz phosphatfreier Waschmittel zurückzuführen. Für Nitrat-Stickstoff ist die Belastung eher gleichbleibend hoch. Bei Betrachtung der Verteilung der Güteklassen für Gesamt-Stickstoff (ersatzweise Nitrat-Stickstoff) an 137 identischen Messstellen im Zeitraum 1996 bis 2003 ergibt sich ein leichter Rückgang von Messstellen mit erhöhter Belastung (Güteklasse III) (Abb. VI 1.3.1-1). Die Güteklasse II und besser wird 2003 an 15 % dieser Messstellen erreicht (Abb. VI 1.3.1-5). Dieses Ziel errei-

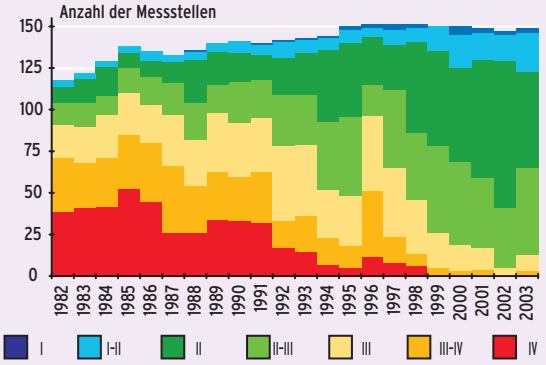
chen 2003 für Ammonium-Stickstoff 56 % (149) der Messstellen (Abb. VI 1.3.1-2) für Gesamtphosphor 29 % (148) der Messstellen (Abb. VI 1.3.1-3) und für Nitrat-Stickstoff 15 % (151) der Messstellen (Abb. VI 1.3.1-4). Einhaltungen der Güteklasse II konzentrieren sich bei Gesamtphosphor auf den süddeutschen

Abb. VI 1.3.1-1: *Güteklassifikation für Gesamtstickstoff an 137 LAWA-Messstellen*



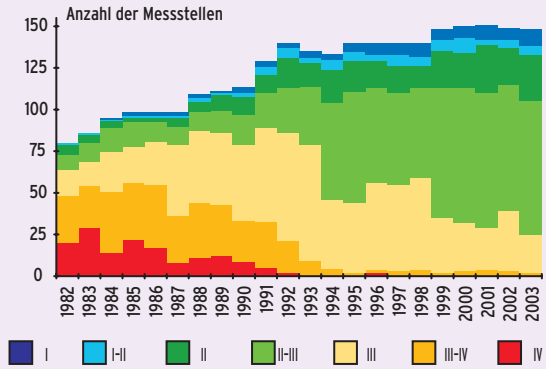
Quelle: *Umweltbundesamt, Daten der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 2004*

Abb. VI 1.3.1-2: *Güteklassifikation für Ammonium-Stickstoff (LAWA-Messstellen)*



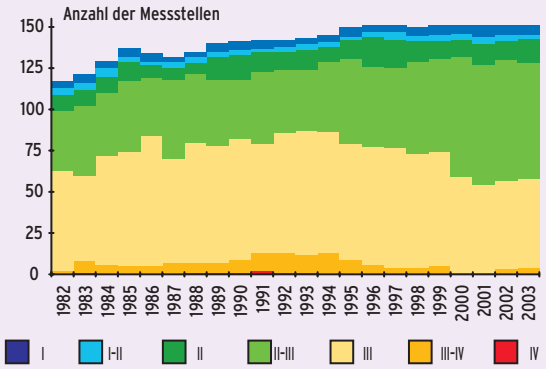
Quelle: *Umweltbundesamt, Daten der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 2004*

Abb. VI 1.3.1-3: *Güteklassifikation für Gesamtphosphor (LAWA-Messstellen)*



Quelle: *Umweltbundesamt, Daten der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 2004*

Abb. VI 1.3.1-4: *Güteklassifikation für Nitrat-Stickstoff (LAWA-Messstellen)*



Quelle: *Umweltbundesamt, Daten der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 2004*

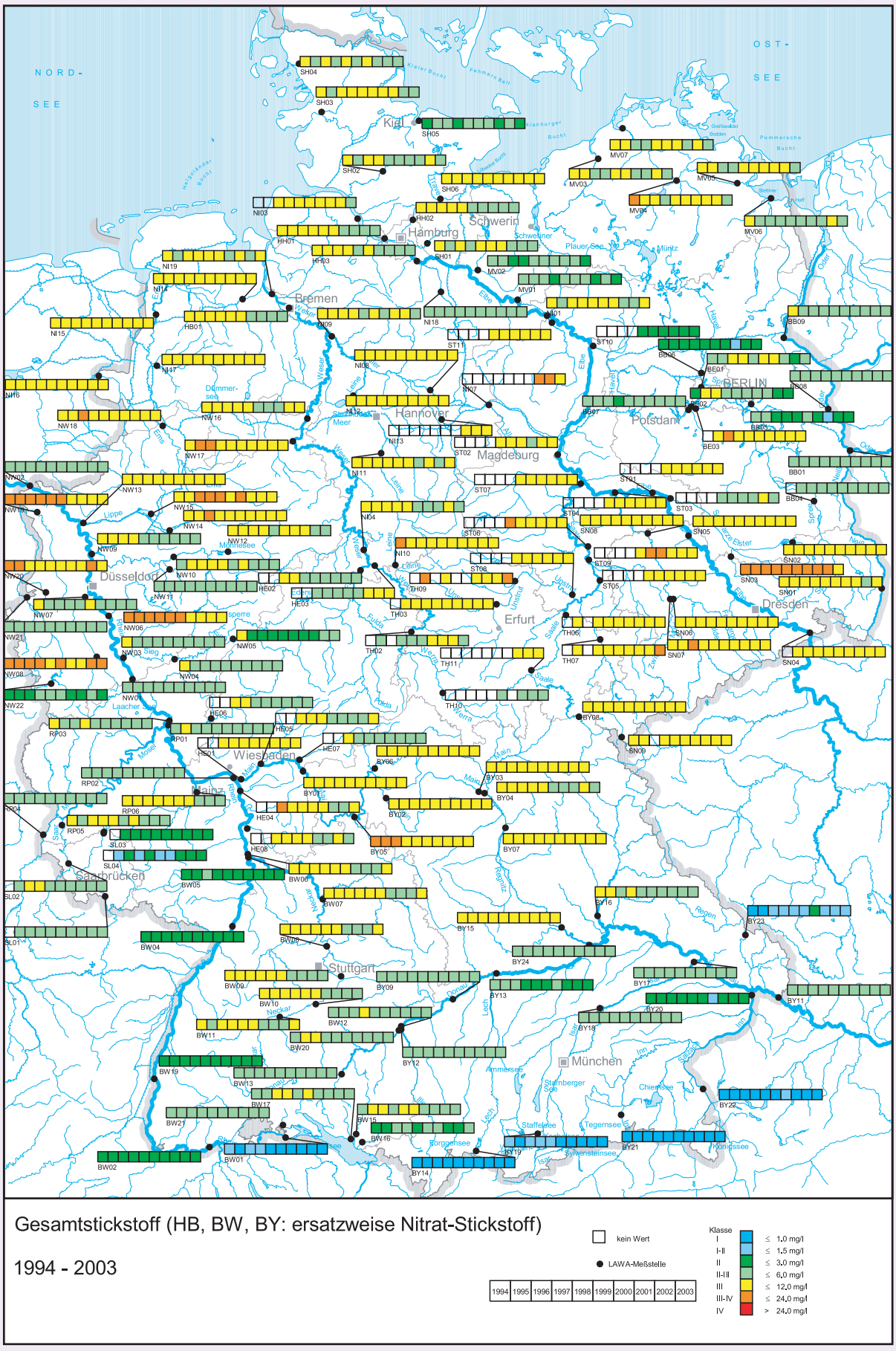
Raum (Abb. VI 1.3.1-6), wo hohe Abflüsse die Phosphoreinträge verdünnen, den Rhein bis Mainz, die Bodenseezuflüsse, das Bergbaugebiet in der Lausitz, wo eisenhaltige Grubenwässer den Phosphor ausfällen und sedimentieren lassen, sowie auf einige wenige gering belastete Gebiete (Referenzmessstellen). Bei Gesamtstickstoff und Nitratstickstoff sind sehr geringe bis mäßige Konzentrationen wiederum nur im Alpenvorland bei hohen Abflussspenden, am Rhein bis Mannheim, an der Havel und an den Referenzmessstellen anzutreffen.

Nährstoffe in Seen

Der übermäßige Nährstoffeintrag und die daraus folgende Überdüngung stellen für Seen ein großes Problem dar. Da das Wasser in stehenden Gewässern nur langsam ausgetauscht wird sowie Nährstoffe im Sediment gespeichert und unter bestimmten Bedingungen wieder freigesetzt werden, reagieren Seen auf eine Reduzierung der Nährstoffeinträge nur sehr langsam, d.h. die angestrebte Verringerung des Algenwachstums stellt sich oftmals erst spät nach einer Reduzierung der Nährstoffeinträge ein.

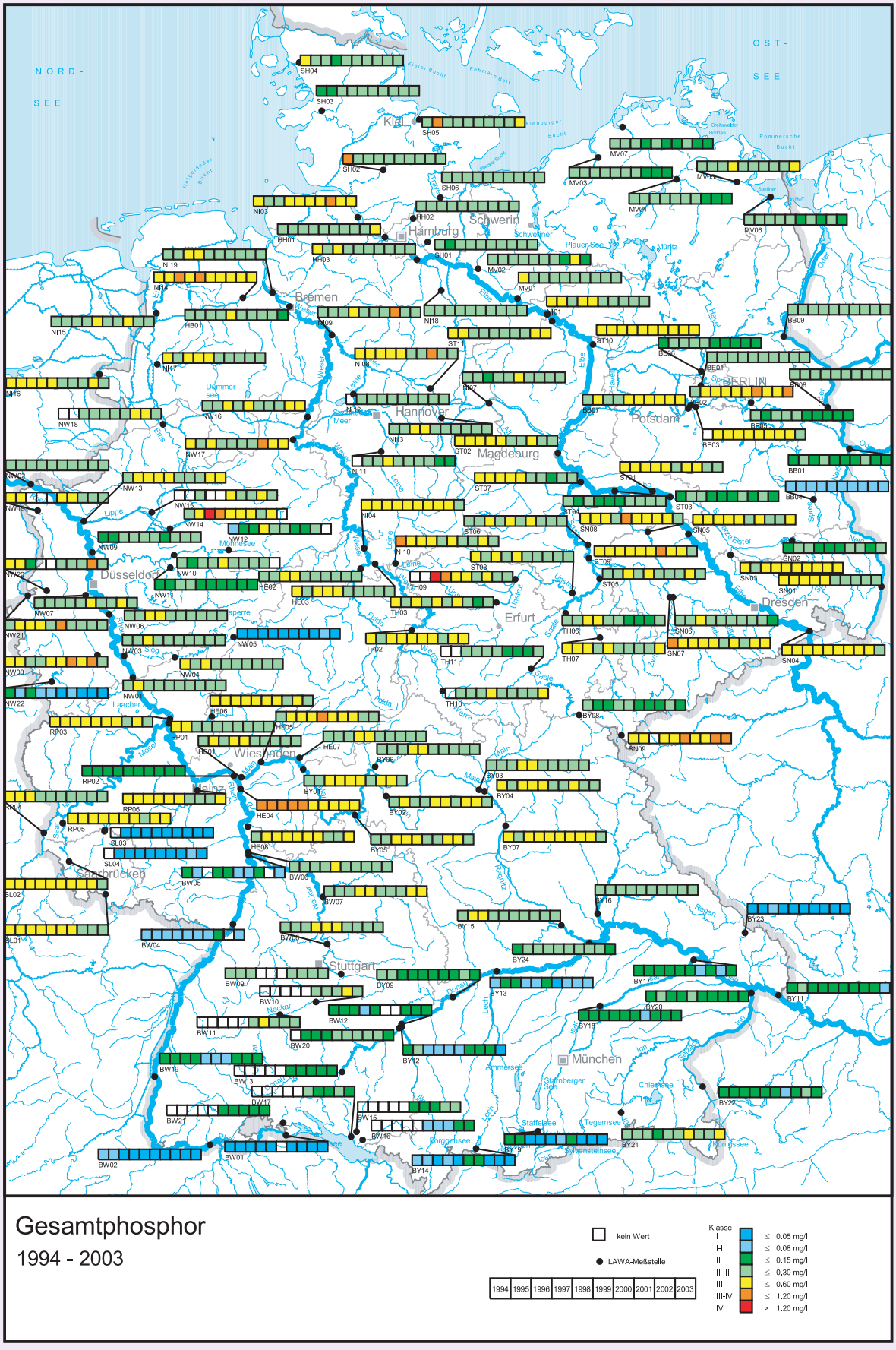
Die Umsetzung der vorhandenen Nährstoffe in pflanzliche Biomasse (Trophie) hängt außer von der Konzentration der Nährstoffe – in den meisten Fällen ist Phosphor der wachstumsbegrenzende Nährstoff – auch von der Seebeckengestalt und -lage und von der Hydrologie des Gewässers ab. Tiefe Seen mit stabiler sommerlicher Temperaturschichtung, kleinem Einzugsgebiet und geringem Wasseraustausch sind natürlicherweise gering produktiv, d.h. der „potenziell natürliche“ oder „Referenzzustand“ ist oligotroph (=nährstoffarm), während flache, ständig durchmischte Seen zu einer effektiveren Umsetzung von Nährstoffen neigen, d.h. der Referenzzustand solcher Seen ist eutroph (=nährstoffreich). Ein bun-

Abb. VI 1.3.1-5: *Gewässergütekarte Gesamtstickstoff*



Quelle: *Umweltbundesamt, Daten der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 2004*

Abb. VI 1.3.1-6: *Gewässergütekarte Gesamtphosphor*

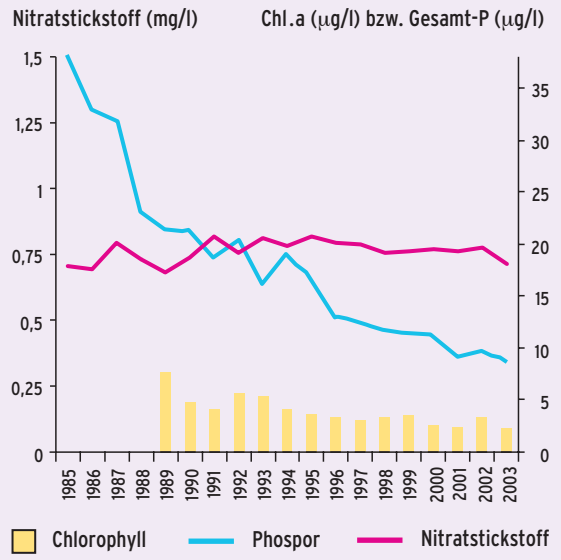


Quelle: *Umweltbundesamt, Daten der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 2004*

deseinheitliches siebenstufiges Bewertungssystem für den Trophiezustand von Seen wurde von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) 1999 erarbeitet. Dieses basiert auf der Abweichung des tatsächlichen Trophiezustands vom potenziell natürlichen Trophiezustand (Referenzzustand). Die Bewertungszahlen spiegeln ein 7-stufiges Bewertungssystem von Stufe 1 (keine Nährstoffbelastung) bis Stufe 7 (übermäßig hohe Nährstoffbelastung) wider.

Beispiele für eine Reoligotrophierung (Zurücksetzung in den nährstoffarmen Referenzzustand) durch verbesserte Klärtechnik sind der Bodensee und die bayerischen Voralpenseen (Abb. VI 1.3.1-7).

Abb. VI 1.3.1-7: *Entwicklung der Wasserbeschaffenheit des Bodensees*



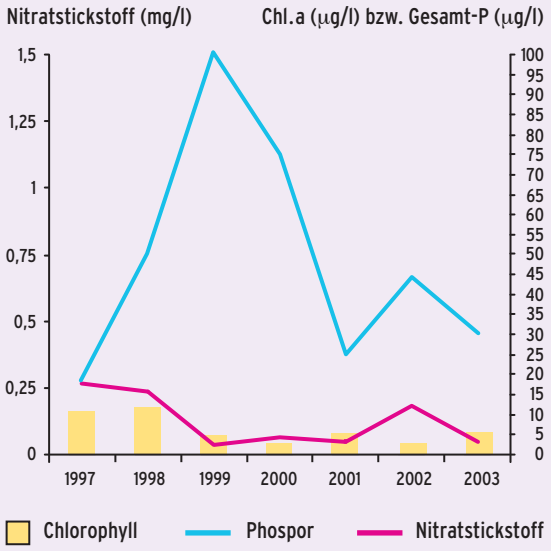
Quelle: *Umweltbundesamt 2004*

Durch verbesserte Klärtechnik und die Einführung phosphatfreier Waschmittel hat auch in den neuen Bundesländern der Einfluss von Abwasser als Eutrophierungsursache in den letzten Jahren erheblich abgenommen (Abb. VI 1.3.1-8).

Zukünftig müssen Maßnahmen zur Verringerung der Eutrophierung vor allem die Reduzierung des diffusen Nährstoffeintrags aus der Landwirtschaft beinhalten. Bei einigen Seetypen wird dabei aber nur durch zusätzliche seeinterne Restaurierungsmaßnahmen eine Verringerung des Trophieniveaus möglich sein. Solche seeinternen Maßnahmen (Tiefenwasserbelüftung, Sedimentbehandlung, Calcitfällung u.a.) sind jedoch nur sinnvoll, wenn die Nährstoffeinträge aus dem Einzugsgebiet drastisch reduziert werden.

Ein weiteres, oft weniger bemerktes, aber immer mehr in den Vordergrund tretendes Problem ist die

Abb. VI 1.3.1-8: *Entwicklung der Wasserbeschaffenheit der Müritz (Außenmüritz)*



Quelle: *Umweltbundesamt 2004 a*

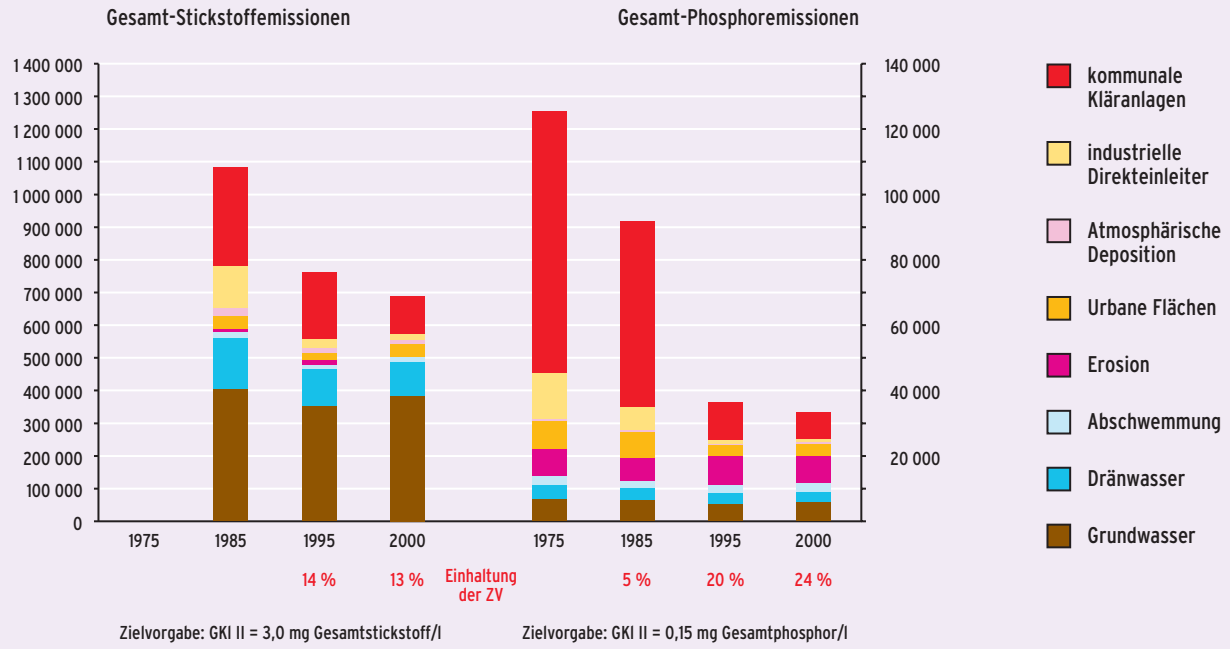
Zerstörung der Ufer, die für einen See eine wichtige ökologische Funktion erfüllen. Hier besteht über die Eutrophierungsbekämpfung hinaus die Notwendigkeit, Konzepte einer umweltverträglichen Ufernutzung zu entwickeln.

Emissionen der Nährstoffe in die Oberflächengewässer

Die Gesamtstickstoffemissionen in die Oberflächengewässer Deutschlands lagen im Zeitraum 1998-2000 bei 688 kt/a und verminderten sich gegenüber dem Vergleichszeitraum 1983–1987 um 400 kt/a (Abb. VI 1.3.1-9). Damit konnte das international vereinbarte Ziel einer Halbierung der Stickstoffemissionen in die Nord- und Ostsee zwischen 1985 und 2000 nicht erreicht werden. Die erreichte 37 %-ige Verringerung wurde hauptsächlich durch den starken Rückgang der Stickstoffemissionen aus Punktquellen um 70 % erzielt. Demgegenüber konnte bei den Stickstoffemissionen aus diffusen Quellen nur ein Rückgang um 15 % ermittelt werden. Insgesamt stellen die Emissionen über das Grundwasser im Zeitraum 1998–2000 für Deutschland mit 56 % den dominanten Eintragspfad dar. Der Anteil der Punktquellen an den Stickstoffemissionen liegt insgesamt bei 19 %. Emissionen in die Oberflächengewässer über Erosion, Abschwemmung und atmosphärische Deposition tragen zu den gesamten Emissionen mit jeweils weniger als 2 % nur in geringem Maße bei.

Die Gesamtphosphoremissionen in die Oberflächengewässer Deutschlands betrugen im Zeitraum 1998–2000 ca. 33 kt/a. Gegenüber dem Vergleichszeitraum 1983–1987 wurden die Phosphoremissio-

Abb. VI 1.3.1-9: *Stickstoff- und Phosphoremissionen aus Punkt- und diffusen Quellen in die Oberflächengewässer in t/a*

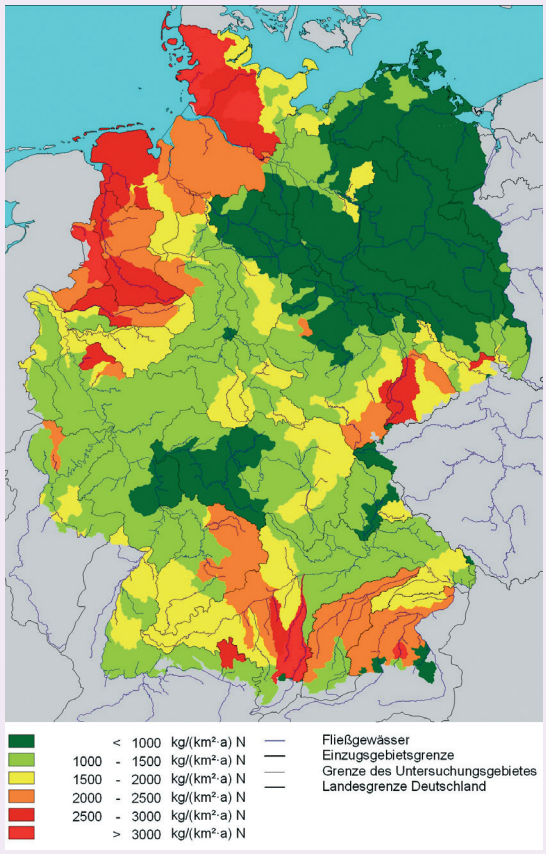


Quelle: *Umweltbundesamt 2003*

nen um ca. 59 kt/a oder 64 % reduziert und damit die Zielstellung einer Verminderung der Phosphoremissionen in die Nord- und Ostsee um 50 % in allen Flussgebieten erfüllt. Die Reduzierung der Phosphoremissionen ist ebenfalls zum überwiegenden Teil auf die Verringerung der Emissionen aus Punktquellen zurückzuführen, die allein um 86 % reduziert wurden. Die Phosphoremissionen aus diffusen Quellen konnten nur um 13 % reduziert werden. Dies ergibt sich aus der überdurchschnittlichen Verminderung der Emissionen aus versiegelten Flächen mit 59 %. Trotz der enormen Verringerung der Emissionen aus Punktquellen stellen diese 1998–2000 mit 27 % noch den dominanten Eintragspfad dar. Bei den diffusen Quellen dominieren für Phosphor die Emissionen über die Erosion mit 26 %.

Das Schwergewicht der Nährstoffemissionen verschiebt sich immer mehr zu den diffusen Quellen. Zwischen 1985 und 2000 nahmen die Nährstoffeinträge aus landwirtschaftlichen Quellen beim Stickstoff nur um etwa 15 % ab, beim Phosphor aber eher leicht zu (7 %). Die diffusen Nährstoffquellen haben jeweils dort ihr Maximum, wo zu hohe Tierbestände auf austragsgefährdeten Standorten gehalten werden. Beim Phosphor tritt dies im äußersten Nordwesten mit seinen Moorböden, beim Stickstoff im gesamten Nordwesten (Sandböden) und in einigen Gebieten des Alpenvorlandes (hohe Abflüsse) auf (Abb. VI 1.3.1-10 und Abb. VI 1.3.1-11). Obwohl die Nährstoffemissionen in die Oberflächengewässer bis 2000 stark abgenommen haben, sind die Nährstoffeinträge immer noch sehr hoch, so

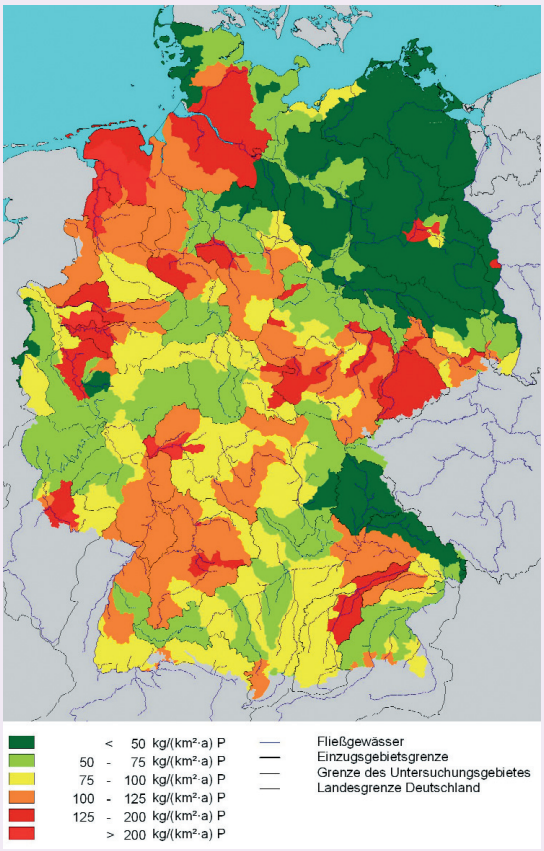
Abb. VI 1.3.1-10: *Räumliche Verteilung der diffusen Stickstoffemissionen in die Oberflächengewässer 2000*



Quelle: *Behrendt et al., UBA-Texte 82/03*

dass die Nährstoffkonzentrationen überwiegend die LAWA-Zielvorgaben (Gewässergüteklasse II) überschreiten.

Abb. VI 1.3.1-11: *Räumliche Verteilung der diffusen Phosphoremissionen in die Oberflächengewässer 2000*



Quelle: *Behrendt et al., UBA-Texte 82/03*

Düngemittelabsatz in der Landwirtschaft

Der Absatz von Stickstoff aus Handelsdünger war in der ersten Hälfte der 90er Jahre im Vergleich zur zweiten Hälfte der 80er Jahre stark rückläufig. Danach zeigt sich ein Wiederanstieg bis Ende der 90er Jahre, ehe er wieder absinkt. Bei der Interpretation der Zahlen ist zu berücksichtigen, dass der Absatz nicht mit dem Einsatz im landwirtschaftlichen Bereich identisch ist, da Betriebsmittel bei günstiger Preislage auf Vorrat gekauft werden (Tab. VI 1.3.1-1). Ziel der 1996 in Kraft getretenen Düngeverordnung ist es, durch einen schonenden Einsatz von Düngemitteln und durch Vermeidung von Nährstoffverlusten langfristig die Nährstoffeinträge in die Gewässer und andere Ökosysteme zu verringern. Als ein Ergebnis der Düngeverordnung kann sicherlich der seit 2000 geringfügig rückläufige Absatz an stickstoffhaltigen Düngemitteln bezeichnet werden. Im Wirtschaftsjahr 2002/2003 ist der Einsatz stickstoffhaltiger Düngemittel je Flächeneinheit (ohne Brache) gegenüber dem Vorjahr unverändert. Wird bei der Berechnung der steigende Anteil der ökologisch bewirtschafteten Flächen (2002: 696 978 ha = 4,1 % der LF) berücksichtigt, die aus der Berechnung des mineralischen Stickstoff-Düngemitteleinsatzes pro Flächeneinheit herausgenommen werden müssen, da diese Flächen nicht mit mineralischen Stickstoff -Düngemitteln gedüngt werden dürfen, so kann man jedoch feststellen, dass die Intensität der Stickstoffdüngung im konventionellen Landbau tendenziell ansteigt. Die mittelfristige Entwicklung des Absatzes von Handelsdüngern wird außerdem auch von den ökonomischen Rahmenbedingungen sowie agrar- und umweltpolitischen Vorgaben, wie z.B. dem Umfang der Flächenstilllegung und der Ausgestaltung von Agrar-Umweltprogrammen, beeinflusst.

Tab. VI 1.3.1-1: *Inlandsabsatz von mineralischen Düngemitteln (1 000 t Nährstoff)*

	1990/91	1995/96	2000/01	2002/03[1)]
Stickstoff (N)	1 885,3	1 769,2	1 847,6	1 787,8
Phosphat(P_2O_5)	672,2	401,7	351,3	327,4
Kali (K_2O)	1 031,7	652,2	544,0	479,7
Kalk (CaO)	2 407,6	1 886,5	2 171,1	2 117,2

[1)] vorläufige Angaben

Quelle: *Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft 2003*

Nährstoffüberschüsse auf landwirtschaftlichen Flächen (Gesamtbilanz)

Hauptursache der schon seit Jahrzehnten zu beobachtenden Nitratanreicherung des Grund- und Oberflächenwassers ist die Intensivierung der landwirtschaftlichen Bodennutzung und Viehhaltung und die daraus resultierenden Stickstoffüberschüsse. Viele der Entwicklungen in der Landwirtschaft und deren Folgen auf die Nährstoffemissionen in die Gewässer sind in den nationalen Nährstoffbilanzen ersichtlich. Der Überschuss aus den Flächenbilanzen ist ein Indikator für die potenziellen Einträge in Grund- und Oberflächengewässer. Die Überschüsse der Gesamt- oder Hoftorbilanz der Landwirtschaft (Tab. VI 1.3.1-2) stellen demgegenüber die Maßzahlen für die potenzielle Gesamtbelastung der Umwelt aus der landwirtschaftlichen Nährstoffnutzung dar. Die Gesamt- oder Hoftorbilanz hat für Stickstoff wegen der gasförmigen Verluste an die Atmosphäre um ca. 30 kg N/(ha·a) höhere Zahlenwerte.

Der Stickstoffüberschuss der Hoftorbilanz sank seit seinem Maximum 1987 um 27 % ; der Phosphorüberschuss sogar um fast 80 % seit 1980 (Abb. VI 1.3.1-12). Mit der deutschen Einigung ist hier ein deutlicher Rückgang zu verzeichnen, der auf die drastische Reduktion der Viehbestände in den neuen Bundesländern zurückzuführen ist. Die Stickstoffbelastungen stagnieren derzeit auf hohem Niveau.

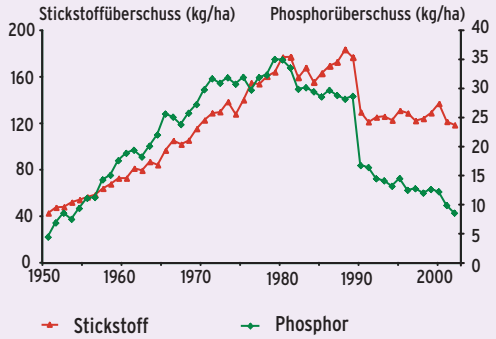
Zusätzlich haben die Einsicht, dass reduzierter Chemikalieneinsatz ökonomisch vorteilhaft ist, dass die

Tab. VI 1.3.1-2: *Nährstoffbilanzen für die Landwirtschaftsfläche 2002 (Gesamtbilanz)*

in kg / ha N oder P		Stickstoff	Phosphor
Zufuhr	Mineraldünger	106	8,2
	Futtermittel aus Importen	21	2,4
	Futtermittel aus inländischer Verarbeitung	12	3,5
	Leguminosen	13	–
	P-Mineralfutter	–	3,7
	Atmosphär. Deposition (netto)	10	–
	Gesamt-Zufuhr	165	20,0
Abfuhr	Pflanzliche Marktprodukte	40	7,8
	Tierische Marktprodukte	20	3,8
	Gesamt-Zufuhr	60	11,6
Saldo	Überschuss Gesamtbilanz	105	8,4

Quelle: *M. Bach und H.-G. Frede, Universität Gießen 2004*

Abb. VI 1.3.1-12: *Entwicklung des Nähstoffüberschusses auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche (Hoftorbilanz)*

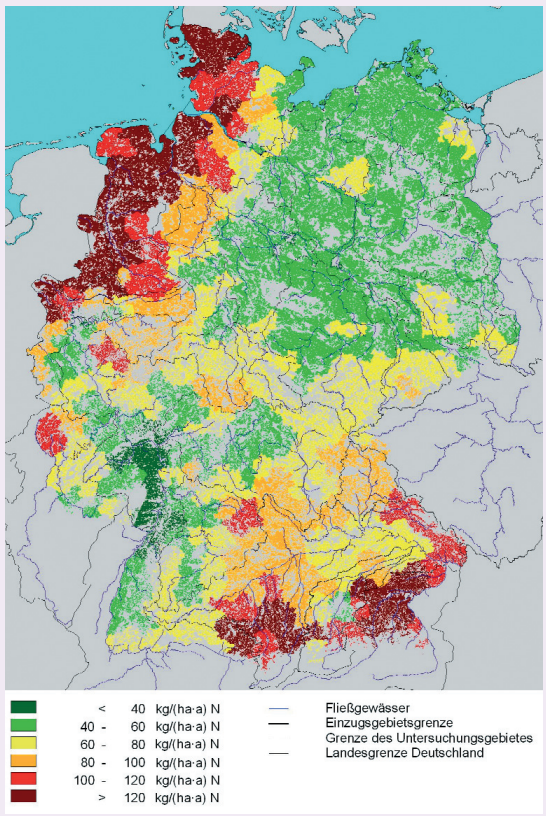


Quelle: *M. Bach und H.-G. Frede, Universität Gießen 2004*

Phosphatgehalte bei zwei Drittel aller landwirtschaftlichen Flächen ausreichend hoch bzw. zu hoch sind sowie ein zunehmendes Umweltbewusstsein der Landwirte als Folge der öffentlichen Debatte und schließlich die EU Agrarreform von 1992 zu diesen Reduktionen beigetragen. Die Phosphorgehalte der Böden und damit die Austräge steigen aber wegen des immer noch vorhandenen Überschusses weiterhin an.

Die 1996 erlassene Düngeverordnung hat auf die Überschüsse aus der Landwirtschaft bisher noch wenig Wirkung gezeigt. Die Verringerung der Stickstoffüberschüsse aus der Landwirtschaft ab 1990 spiegeln sich nur geringfügig in einer verbesserten Qualität der Fließgewässer wider (Abb. VI 1.3.1-13 und Abb. VI 1.3.1-14). Ursache dafür dürften beim Stickstoff die hohen mittleren Aufenthaltszeiten im Grundwasser sein. Erste Erkenntnisse darüber liegen aus einer Korrelation der Zeitreihen der Überschüsse der Landwirtschaft mit den Stickstoffkonzentrationen in den Flüssen vor. Die mittleren Aufenthaltszeiten im Grundwasser betragen 5-15 Jahre in der Donau, 10-20 Jahre im Rhein und sogar 30 Jahre in der Elbe. In einem Modell für den Grundwasserfluss im Flachland des Elbegebietes ergaben sich ähnliche Werte. Der Medianwert der Fließzeiten betrug 25 Jahre mit einer Spannweite zwischen 1, 5 und etwa 500 Jahren. Die meisten Grundwasserleiter im Flachland haben immer noch eine hohe Nitratabbaukapazität, was sich in ihren geringen Sauerstoff- und hohen Eisen- und Pyritkonzentrationen ausdrückt.

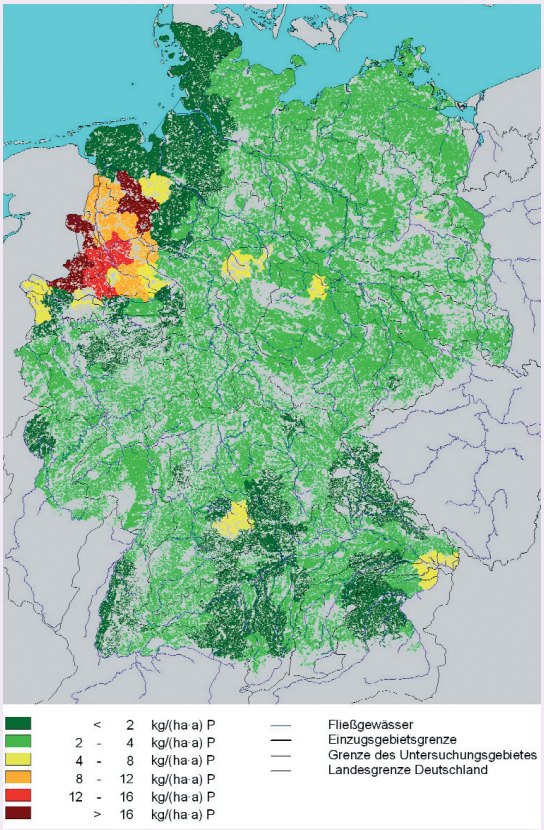
Abb. VI 1.3.1-13: *Räumliche Verteilung der Stickstoffüberschüsse auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche 1999*



Quelle: *M. Bach, Universität Gießen, UBA-Texte 82/03*

Trotz Erfolge bei der Abwasserreinigung gibt es noch viel zu tun, um den guten Zustand nach EG-Wasserrahmenrichtlinie oder solche politischen Ziele, wie die Halbierung der Stickstofffrachten nach den Anforderungen der Meeresschutzkonventionen zu erreichen. Nach neueren Erkenntnissen wären hierfür Maßnahmen erforderlich, die zu einem weiteren Rückgang des Stickstoffüberschusses auf jährlich ca. 50 kg N/ha (Flächenüberschuss) und zu einer Erhöhung der Denitrifikationskapazität der Landschaft (z.B. durch Schließung von Dränagen, Wiedervernässung von Feuchtgebieten und Verbesserungen der morphologischen Gewässerstruktur) führen.

Abb. VI 1.3.1-14: *Räumliche Verteilung der Phosphorüberschüsse auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche 1999*



Quelle: *M. Bach, Universität Gießen, UBA-Texte 82/03*

Maßnahmen in der Landwirtschaft

Mit dem Wasserhaushalts-, dem Düngemittel-, dem Bodenschutz- und dem Kreislaufwirtschaftsgesetz sowie den EG-Richtlinien zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen (Nitratrichtlinie) und über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU) wurden wesentliche rechtliche Regelungen für eine umweltverträgliche Landwirtschaft getroffen.

Die wichtigste Maßnahme zur Verringerung der Gewässerverschmutzung aus landwirtschaftlichen Quellen ist die Einhaltung der guten fachlichen Praxis, die im landwirtschaftlichen Fachrecht geregelt ist. Hier kommt der Düngeverordnung und den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis im Pflanzen- und Bodenschutz eine besondere Bedeutung zu. Des Weiteren spielen die in der EU-Agrarreform kürzlich beschlossenen neuen Instrumente eine entscheidende Rolle:

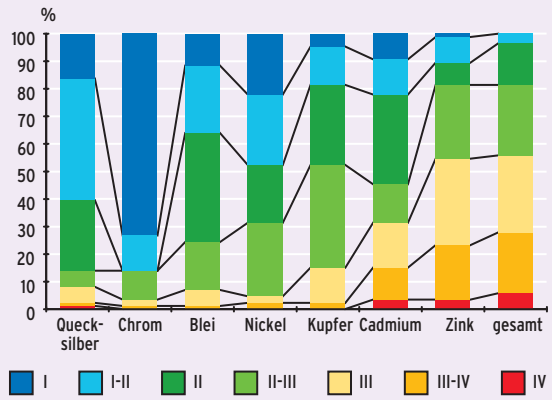
- Entkoppelung der Direktzahlungen von der Produktion und Bindung an die Fläche,
- Cross Compliance, d.h. Bindung der Direktzahlungen an Standards im Umwelt-, Tierschutz und Lebensmittelsicherheit; die Nitrat-Richtlinie 91/676/EWG und die Grundwasser-Richtlinie,
- Obligatorische Modulation, d. h. Kürzung der Direktzahlungen um bis zu 5 % ab 2007 bis 2012, um aus diesen Mitteln die Förderprogramme zur Entwicklung des ländlichen Raumes (darunter die Agrar-Umweltprogramme) zu stärken.

VI 1.3.2 Schwermetalle

Schwermetalle in Fließgewässern

Die Schwermetallbelastung wird u.a. anhand von Messungen im Schwebstoff beurteilt. Die Datenerhebung erfolgt vorrangig an größeren und mittleren Gewässern, an denen eine Belastung zu erwarten ist. Die Güteklasse II und besser wurde 2003 für Zink nur an 19 %, für Kupfer an 48 %, für Cadmium an 55 %, für Nickel an 69 %, für Blei an 76 %, für Quecksilber an 86 % und für Chrom an 86 % der 86 LAWA-Messstellen, an denen Schwebstoffuntersuchungen erfolgten, erreicht. Damit wurden an 19 % der 86 LAWA-Messstellen die Güteklasse II für alle 7 Schwermetalle (Abb. VI 1.3.2-1) erreicht. Deutlich wird aber für die 7 Schwermetalle – von einigen Ausnahmen abgesehen – eine mehr oder minder ausgeprägte Abnahme der Schwermetallbelastung im Zeitraum 1988–2003. Für Blei, Cadmium, Nickel und Quecksilber werden derzeit im Rahmen der Arbeiten zur EG-Wasserrahmenrichtlinie EU-weit Umweltqualitätsnormen für die Einstufung des chemischen Zustandes abgeleitet. Nationale Umweltqualitätsnormen für die Einstufung des ökologischen Zustandes wurden für Chrom (640 mg/kg), für Kupfer (160 mg/kg) und für Zink (800 mg/kg) festgelegt. Bei Überschreitung dieser Umweltqualitätsnormen wird der gute Zustand der Oberflächen-

Abb. VI 1.3.2-1: *Güteklassifikation für Schwermetalle im Schwebstoff 2003 (Anzahl der Messstellen = 86, jeweils strengstes Schutzgut)*



Quelle: *Umweltbundesamt, Daten der Landesarbeitsgemeinschaft Wasser 2004*

gewässer verfehlt und es müssen Maßnahmen zur Begrenzung der Stoffeinträge ergriffen werden.

Emissionen der Schwermetalle in die Oberflächengewässer

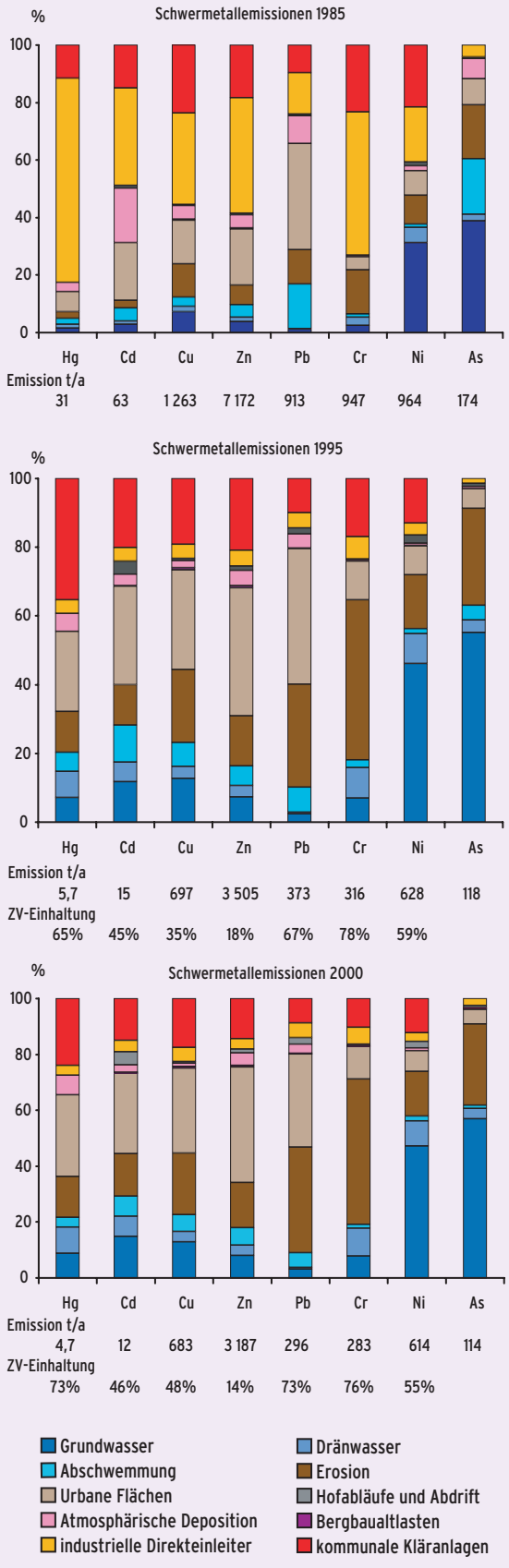
Der Eintrag von Schwermetallen in die Oberflächengewässer stellt eine Beeinträchtigung aquatischer Lebensgemeinschaften dar, die gezielte Maßnahmen zur Verringerung dieser Einträge in die Binnengewässer und Meere erfordert. Für Deutschland wurde zwischen 1985 und 2000 ein starker Rückgang der Schwermetallemissionen in die Oberflächengewässer festgestellt (Abb. VI 1.3.2-2). Außer für Arsen und Nickel, bei denen der nicht beeinflussbare geogene Anteil recht hoch ist, wurden die geforderten Reduktionsvorgaben der internationalen Meeresschutzabkommen in der Größenordnung von 50 % (Cr, Cu, Ni, Zn sowie das Metalloid As), beziehungsweise 70 % (Cd, Hg, Pb) für die genannten Schwermetalle erreicht oder überschritten. Sie liegen zwischen 36 % bei Nickel und 85 % bei Quecksilber und sind vor allem auf die drastische Reduzierung der industriellen Direkteinträge von 74 % für Nickel und bis zu 95 % für Quecksilber zurückzuführen. Einen entscheidenden Beitrag zu dieser Umweltentlastung haben Maßnahmen im Bereich der Industrie auf Grund verschärfter gesetzlicher Anforderungen geleistet, aber vor allem auch der seit 1990 eingetretene Rückgang industrieller Aktivitäten in den neuen Bundesländern. Im Jahr 2000 spielten industrielle Direkteinleitungen nur noch eine untergeordnete Rolle. Die Bedeutung der Einleitungen aus kommunalen Kläranlagen war zwar nach wie vor hoch, jedoch wurden im Jahre 2000 die Gewässerbelastungen durch diffuse Quellen dominiert.

Die Verminderung der Emissionen aus diffusen Quellen, die seit Mitte der 80er Jahre zwischen 5 % für Kupfer und 72 % für Cadmium schwankt, ist in direktem Zusammenhang mit der Verminderung der atmosphärischen Emissionen zu sehen. Neben der Verminderung der direkten atmosphärischen Einträge auf die Gewässeroberfläche, die jedoch nur einen kleinen Anteil an der Gesamtemission ausmachen, beeinflusst die atmosphärische Deposition unmittelbar auch die Einträge durch Oberflächenabfluss, besonders von befestigten urbanen Flächen. Für andere bedeutende diffuse Eintragspfade – wie Erosion und Grundwasser – wurden keine deutlichen Veränderungen der Emissionen in die Gewässer seit der Mitte der 80er Jahre festgestellt.

Prioritäre Verursacher

Die diffusen Quellen haben gegenwärtig einen Anteil von etwa 72 % bei Quecksilber, 76 % bei Cadmium und Kupfer, 84 % bei Blei und Chrom, 80 %

Abb. VI 1.3.2-2: *Schwermetallemissionen aus Punkt- und diffusen Quellen in den Oberflächengewässern*



Quelle: *S. Fuchs, U. Scherer, UBA-Texte 54/02*

bei Zink, 82 % bei Nickel und 94 % bei Arsen. Als maßgebliche Eintragspfade wurden Kanalisationen und nicht an die Kanalisation angeschlossene Einwohner, die Erosion und der Grundwasserzufluss identifiziert. Die Mischwasserkanalisationssysteme sowie Niederschlagsabflüsse aus Trennkanalisationssystemen verursachen 10–40 % der gesamten Schwermetallemissionen in die Oberflächengewässer. Dabei werden besonders hohe Anteile bei Zink, Blei und Kupfer erreicht. Da in den Mischwassersystemen ein nicht unbedeutender Anteil des Niederschlagsabflusses zur Kläranlage weitergeleitet wird, ergibt sich bezogen auf Schwermetalle eine geringere Gewässerbelastung als beim Trennkanalisationssystem. Durch Erosion werden die Metalle Chrom und Blei in die Gewässer eingetragen. Bei Arsen (57 %) und Nickel (45 %) überwiegen die geogenen Emissionen (Grundwasserpfad). Signifikante Belastungsunterschiede bestehen zwischen den einzelnen Flussgebieten bei der Landnutzung und bei klimatischen Faktoren.

Im Rheineinzugsgebiet wurden im Jahr 2000 die höchsten flächenspezifischen Belastungen festgestellt. Der Grund hierfür ist in der hohen Bevölkerungsdichte (ca. die Hälfte der Bevölkerung von Deutschland lebt im Rheingebiet, das jedoch nur 30 % der Fläche umfasst) und dem damit verbundenen hohen Grad an Urbanisierung und Industrialisierung zu sehen. So wird für Cadmium, Kupfer, Quecksilber, Blei und Zink der Hauptteil der Emissionen im Rheineinzugsgebiet aus urbanen Quellen wie kommunale Kläranlagen, Kanalisationen und der Industrie emittiert. Für die ostdeutschen Flussgebiete Elbe und Oder wurden wegen des Industrierückbaus in den neuen Bundesländern seit der deutschen Wiedervereinigung 1990 keine höheren Belastungen mehr festgestellt.

Somit stehen derzeit die diffusen Schwermetallquellen im Blickpunkt des Interesses, nachdem deutlich wurde, dass trotz bis zu 95 %-iger Reduktion der Punktquellen und starker Reduktion der Konzentrationen im Fluss die LAWA-Zielvorgaben (Gewässergüteklasse II) oftmals nicht eingehalten werden. Probleme bestehen vor allem bei Zink, Cadmium, Kupfer und Nickel.

Maßnahmen

Um die Schwermetallemissionen aus diffusen Quellen zu vermindern, muss vorrangig die Reinigung der städtischen Regenabwässer verbessert werden. Die Regenabwässer gelangen über die Regenwasserkanäle der Trennkanalisationen oder über die Regenüberläufe zur Entlastung von Kläranlagen bei Mischkanalisation schlecht bis gar nicht gereinigt in die Oberflächengewässer. Mischkanalisationen wurden z.B. so konzipiert, dass ihre Überlaufanlagen durchschnittlich 50 mal jährlich „anspringen“ und einen großen Teil des Regenabwassers zusammen mit häuslichem Abwasser schlecht gereinigt direkt in die Gewässer einleiten. Nur der erste, allerdings meistens am stärksten belastete Regenwasseranfall wird zurückgehalten. Im Landwirtschaftsbereich helfen alle Maßnahmen gegen Erosion (z.B. Mulchsaat und Bodenbearbeitung quer zur Hangneigung) auch gegen Schwermetalleinträge. Die Dränageabflüsse spielen vor allem bei Cadmium eine größere Rolle, das mit den Phosphatdüngern auf vielen Flächen angereichert wurde. Hier kann langfristig Abhilfe geschaffen werden, indem cadmiumarme Phosphatdünger eingesetzt und Dränagen im Zuge von Flächenstillegungen aufgegeben werden.

VI 1.3.3 Organische Umweltchemikalien in Fließgewässern

Bei den organischen Umweltchemikalien (Tab. VI 1.3.3-1) sind für den Komplexbildner EDTA häufiger Überschreitungen der Zielvorgaben an den LAWA-Messstellen (> 25 % der untersuchten Messstellen) zu verzeichnen. Vereinzelte Überschreitungen treten bei Dichlormethan, Trichlormethan, 1.4-Dichlorbenzol, 1.3.5-Trichlorbenzol, Hexachlorbenzol, Nitrobenzol, 3.4-Dichloranilin, DTPA und NTA auf. Für weitere 21 Stoffe sind die ermittelten Belastungen als unbedenklich einzustufen. Allerdings ist die Prüfung auf Einhaltung der Zielvorgaben wegen einer unzureichend hohen Bestimmungsgrenze besonders bei Dichlormethan, 1.4-Dichlorbenzol, 3-Chloranilin und 4-Chloranilin nicht an allen Messstellen möglich. Trendmäßig ist im Zeitraum 1993 bis 2003 für Chlorkohlenwasserstoffe wie Trichlormethan, Trichlorethen und Tetrachlorethen eine Abnahme der Belastung zu verzeichnen. Mit fortschreitender Reduktion der produktionsbedingten Stoffeinträge hat sich das Schwergewicht der Einträge bei einzelnen Stoffen auf anwendungsbedingte Quellen verlagert, die es weiterhin zu reduzieren gilt. Für das Umweltbarometer des Umweltbundesamtes wurden für 85 identische Messstellen des LAWA-Messstellennetzes die Daten des Summenparameters AOX (adsorbierbare organische Halogenverbindungen) im Zeitraum 1996 bis 2003 ausgewertet (Abb. VI 1.3.3-1). Über AOX werden u.a. die chlorierten Verbindungen erfasst (Tab. VI 1.3.3-1 und Tab. VI 1.3.3-2). 2003 erreichten 44 % der Messstellen die Güteklasse II und besser, auch hier zeichnete sich ein Rückgang der Belastung an Messstellen mit erhöhter Belastung ab. Für viele der genannten Umweltchemikalien werden derzeit im Rahmen der Arbeiten zur EG-Wasserrahmenrichtlinie EU-weit Umweltqualitätsnormen für die Einstufung des chemischen Zustandes abgeleitet oder nationale Umweltqualitätsnormen für die Einstufung des ökologischen Zustandes

Tab. VI 1.3.3-1: *Einhaltung und Überschreitung der Zielvorgaben (ZV) für organische Umweltchemikalien im Zeitraum 2001-2003, Vergleichswert 90-Perzentil*

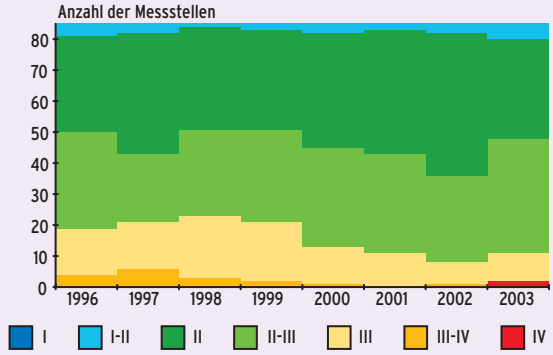
Stoff	ZV in µg/l (A)	ZV in µg/l (T)	Überschreitung der Zielvorgaben 0%	bis 10%	> 10% – 25%	> 25%	BG > ZV[1)]
Dichlormethan	10	1	A	T			T
Trichlormethan (Chloroform)	0,8	1		A, T			
Tetrachlormethan	7	3	A, T				
1,2-Dichlorethan	2	1	A, T				
1,1,1-Trichlorethan[*)]	100	1	A, T				
Trichlorethen	20	1	A, T				
Tetrachlorethen	40	1	A, T				
Hexachlorbutadien	0,5	1	A, T				
1,4-Dichlorbenzol	*10*	1	A, T	F[2)]			F
1,2,3-Trichlorbenzol	8	1	A, T				
1,3,5-Trichlorbenzol	20	0,1	A	T			
1,2,4-Trichlorbenzol	4	1	A, T				
Hexachlorbenzol	0,01	0,1		A, T	F[3)]		
Nitrobenzol	*0,1*	10	T	A			
1-Chlor-2-nitrobenzol	*10*	1	A, T				
1-Chlor-4-nitrobenzol [*)]	30	1	A, T				
1,2-Dichlor-3-nitrobenzol[*)]	20	1	A, T				
1,4-Dichlor-2-nitrobenzol[*)]	20	1	A, T				
1,2-Dichlor-4-nitrobenzol[*)]	20	1	A, T				
2-Nitrotoluol	50	10	A, T				
3-Nitrotoluol	50	10	A, T				
4-Nitrotoluol	70	10	A, T				
4-Chlor-2-nitrotoluol[*)]	20	1	A, T				
2-Chlor-4-nitrotoluol		1	T				
2-Chloranilin	*3*	1	A, T				
3-Chloranilin	*1*	0,1	A, T				T
4-Chloranilin	*0,05*	0,1	A, T				A
3,4-Dichloranilin	*0,5*	0,1	A	T			
DTPA		10		T			
EDTA		10				T	
NTA		10		T			

T = Schutzgut „Trinkwasserversorgung“,
A = Schutzgut „Aquatische Lebensgemeinschaften“,
F = Schutzgut „Fischerei“
Fett: Entscheidung Nr. 2455/2001/EG zur Festlegung der Liste prioritärer Stoffe im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG
Kursiv: Umweltqualitätsnormen der Verordnungen der Bundesländer zur Umsetzung der Anhänge II und V der EG-Richtlinie 2000/60/EG (ohne prioritäre Stoffe), Vergleichswert: Mittelwert

1) Bestimmungsgrenze (BG) liegt an mindestens 50 % der beprobten Messstellen oberhalb der Zielvorgabe (Wasserphase); an diesen Messstellen ist sowohl eine Überschreitung als auch eine Unterschreitung der Zielvorgabe möglich.
2) Zielvorgabe Schutzgut „Fischerei“: 0,02 µg/l
3) Zielvorgabe Schutzgut „Fischerei“: 0,001 µg/l bzw. 40 µg/kg im Schwebstoff
*) Umweltqualitätsnorm = 10 µg/l

Quelle: *Umweltbundesamt, Daten der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 2004*

Abb. VI 1.3.3-1: *Güteklassifikation für AOX an 85 LAWA-Messstellen*



Quelle: *Umweltbundesamt, Daten der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 2004*

festgelegt. Bei Überschreitung dieser Umweltqualitätsnormen wird der angestrebte Zustand der Oberflächengewässer nicht erreicht und es müssen Maßnahmen zur Begrenzung der Stoffeinträge ergriffen werden.

VI 1.3.4 Pflanzenschutzmittel in Fließgewässern

Für Pflanzenschutzmittel werden in den Bundesländern gesonderte Untersuchungsprogramme durchgeführt. Diese Programme sind teilweise speziell auf intensiv landwirtschaftlich genutzte Gebiete (z.B. Hessen: Nidda) oder auf Gewässer, die für die Trinkwassergewinnung relevant sind (z.B. Nordrhein-Westfalen: Stever, Thüringen: Talsperrenzuflüsse), ausgerichtet. Es werden dabei vor allem die Wirkstoffe untersucht, deren Eintrag in die Gewässer erwartet werden kann (Produktion, Einsatzmenge). Von 38 potenziell gewässerrelevanten Wirkstoffen werden daher nicht alle an den 151 LAWA-Messstellen gemessen. Die Datenbasis ist somit sehr unterschiedlich. Für die 38 Pflanzenschutzmittel gelten für das Schutzgut „Trinkwasserversorgung“ Zielvorgaben in Höhe von 0,1 µg/l je Wirkstoff. Ferner wurden für das Schutzgut „aquatische Lebensgemeinschaften“ Zielvorgaben abgeleitet. Im Zeitraum 2001 bis 2003 wurden die LAWA-Zielvorgaben für Dichlorvos, Diuron, Isoproturon und Tributylzinn (TBT) häufiger überschritten (> 25 % der untersuchten Messstellen. Bei 21 der 38 Pflanzenschutzmittel traten vereinzelt Überschreitungen der Zielvorgaben auf. Nur 13 Pflanzenschutzmittel hielten die Zielvorgaben für beide Schutzgüter ein. Da bei den Pflanzenschutzmitteln die ermittelten Konzentrationen häufig im Bereich der Bestimmungsgrenze liegen, können nur für relativ wenige Pflanzenschutzmittel Aussagen über die Entwicklung der Belastung getroffen werden. Für Atrazin, Simazin und Lindan ist eine Abnahme der Belastung zu verzeichnen. Für Diuron und Isoprotu-

Tab. VI 1.3.3-2: *Einhaltung und Überschreitung der Zielvorgaben (ZV) für Pflanzenschutzmittel im Zeitraum 2001–2003, Vergleichswert 90-Perzentil*

Stoff	ZV in µg/l (A)	ZV in µg/l (T)	Überschreitung der Zielvorgaben 0%	bis 10%	> 10% – 25%	> 25%	BG > ZV[1]
2.4-D	2	0,1		A, T			
alpha-Endosulfan	0,005	0,1	A, T				
beta-Endosulfan	0,005	0,1		A, T			A
Ametryn	*0,5*	0,1	A	T			
Atrazin	-	0,1		T			
Azinphos-methyl	*0,01*	0,1	A[2],T				A
Azinphos-ethyl	-	0,1	T				
Bentazon	70	0,1	A	T			
Bromacil	*0,6*	0,1	A	T			
Chloridazon	10	0,1	A	T			
Chlortoluron	*0,4*	0,1		A, T			
Dichlorprop	10	0,1	A		T		
Dichlorvos	*0,0006*	0,1	T			A[2]	A
Dimethoat	0,2	0,1	A, T				
Diuron	0,05	0,1			T	A	
Etrimphos	*0,004*	0,1	T		A[2]		A
Fenitrothion	*0,009*	0,1	A[2],T				A
Fenthion	*0,004*	0,1	T		A[2]		A
Hexazinon	*0,07*	0,1	T	A			
Isoproturon	0,3	0,1		A		T	
Lindan	0,3	0,1	A, T				
Linuron	0,3	0,1	A, T				
Malathion	*0,02*	0,1	A, T				
MCPA	2	0,1	A		T		
Mecoprop	50	0,1	A		T		
Metazachlor	*0,4*	0,1		A, T			
Methabenzthiazuron	2	0,1	A	T			
Metolachlor	*0,2*	0,1	A	T			
Parathion-methyl	*0,02*	0,1	A, T				
Parathion-ethyl	*0,005*	0,1		A[2],T			A
Prometryn	*0,5*	0,1	A, T				
Propazin	-	0,1	T				
Simazin	0,1	0,1		A, T			
Terbuthylazin	*0,5*	0,1	A	T			
Triazophos	*0,03*	0,1	A, T				A
Tributylzinn-Kation[3]	0,0001	0,1	T[2]			A[3]	A
Trifluralin	0,03	0,1	A,T				A
Triphenylzinn-Kation[4]	*0,0005*	0,1	T[2]		A 2, 4)		A

T = Schutzgut „Trinkwasserversorgung“
A = Schutzgut „Aquatische Lebensgemeinschaften“
Fett: Entscheidung Nr. 2455/2001/EG zur Festlegung der Liste prioritärer Stoffe im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG
Kursiv: Umweltqualitätsnormen der Verordnungen der Bundesländer zur Umsetzung der Anhänge II und V der EG-Richtlinie 2000/60/EG (ohne prioritäre Stoffe), Vergleichswert: Mittelwert; Azinphosethyl = 0,01 µg/l

1) Bestimmungsgrenze (BG) liegt an mindestens 50 % der Messstellen oberhalb der Zielvorgabe (Wasserphase); an diesen Messstellen ist sowohl eine Überschreitung als auch eine Unterschreitung der Zielvorgabe möglich
2) statistisch nicht gesichert, da Anzahl Messstellen < 15
3) Zielvorgabe Schutzgut „Aquatische Lebensgemeinschaften“: 2 µg/kg im Schwebstoff
4) Zielvorgabe Schutzgut „Aquatische Lebensgemeinschaften“: 10 µg/kg im Schwebstoff

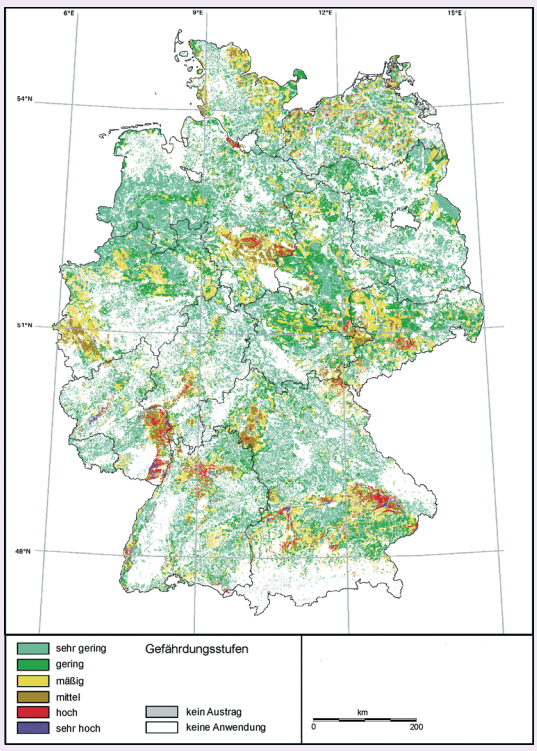
Quelle: *Umweltbundesamt, Daten der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 2004*

ron ist sie hingegen eher gleichbleibend. Für eine Auswahl der in Tab. VI 1.3.3-2 aufgeführten Pflanzenschutzmittel werden derzeit im Rahmen der Arbeiten zur EG-Wasserrahmenrichtlinie EU-weit Umweltqualitätsnormen für die Einstufung des chemischen Zustandes abgeleitet oder nationale Umweltqualitätsnormen für die Einstufung des ökologischen Zustandes festgelegt. Bei Überschreitung dieser Umweltqualitätsnormen wird der gute Zustand der Oberflächengewässer nicht erreicht und es müssen Maßnahmen zur Begrenzung der Stoffeinträge ergriffen werden.

Emissionen der Pflanzenschutzmittel in die Oberflächengewässer

Die Pflanzenschutzmittelemissionen in Oberflächengewässer betragen etwa 30 t/a mit einem hohen Unsicherheitsbereich. Das sind etwa 0,1 % der angewandten Mengen. Die Abschwemmung und die Hofabläufe sind die bedeutendsten Eintragspfade. Die Abschwemmung (Abb. VI 1.3.4-1) ist bedeutend bei Weinbauflächen, in Börde-, Löß- und Marschgebieten mit hohem Anteil an Hackfrüchten (Zuckerrüben, Mais, Kartoffeln) sowie in klimatisch ungünstigen Mittelgebirgslagen, sofern sie ackerbaulich genutzt werden. Hohes Versickerungspotenzial wurde für Gebiete mit leichten Böden, z.B. die

Abb. VI 1.3.4-1: *Räumliche Verteilung des Pflanzenschutzmittel-Eintragspotenzials mit dem Oberflächenabfluss*



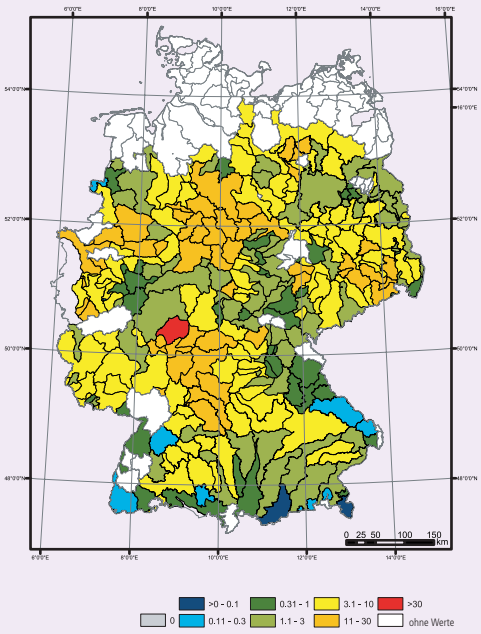
Quelle: *Bach et al. 2000*

Region zwischen Aller und Elbe, das Emsland, die Schleswig-Holsteinische Geest, das Münsterland und das mittelfränkische Becken, kleine Teile Oberfrankens, des Vogtlandes, des nördlichen Thüringer Waldes und des Erzgebirges errechnet. Der Dränabfluss scheint bedeutend, wenn Böden mit hohem Versickerungspotenzial in Flussniederungen gedränt wurden (z.B. im Münsterland, im Oberrheingraben und in der Lausitz). Die Abtrift ist nur in den Obstbaugebieten in den Marschen mit ihren dichten Netzen von Entwässerungsgräben bedeutend. Die Frachten der deutschen Flüsse liegen in der gleichen Größenordnung wie diese geschätzten Emissionen.

Die Hofabläufe haben teilweise sehr hohe Anteile an den Gesamteinträgen (im Süden und Westen Deutschlands bis zu 90 % aller Einträge). Das liegt vor allem an der strukturbedingt überdurchschnittlich hohen Anzahl der PSM-Ausbringungsgeräte in diesen Regionen. Dies wurde auch durch mehrere Messkampagnen der betroffenen Bundesländer an Kläranlagen bestätigt, die an die Höfe angeschlossen sind. Die Quellen der Pflanzenschutzmittelbelastung von kommunalen Kläranlagen können neben angeschlossenen Höfen auch (unerlaubte) Anwendungen auf befestigten Flächen und indirekt eingeleitete Abwässer aus Formulierbetrieben sein.

Zur Ermittlung der geschilderten Gefährdungspotenziale wurden Prozessmodelle für Abschwemmung, Dränage und Abtrift genutzt, die mittels Daten zur Anwendung der Pflanzenschutzmittel, zu den Anbau- und Bodenverhältnissen, zu Sorption und Abbau der Stoffe am Boden sowie zum Witterungsverlauf die Stofftransporte berechnen. Solche Modelle können die genaue Position der Eintragsstellen natürlich nicht vorhersagen. Außerdem berücksichtigen sie noch nicht den Abbau in den Gewässern selbst. Deshalb sind daraus berechnete Konzentrationen in den Gewässern noch ungenau und sollten nur als Hinweis genutzt werden, auf welche Regionen sich Untersuchungsprogramme konzentrieren sollten. Die Abb. VI 1.3.4-2 enthält eine Schätzung der Konzentrationen für das in Deutschland am häufigsten im Ackerbau genutzte Herbizid Isoproturon. Dargestellt ist das Belastungsbild, das sich in kleinen Bächen direkt an Feldern, die 2000 mit Isoproturon behandelt wurden, nach Starkregenereignissen ergibt. Durch die Verdünnung mit unbelastetem Abfluss sind die Werte in den mittleren und größeren Flüssen, die von den Ländermessprogrammen erfasst werden, viel geringer.

Abb. VI 1.3.4-2: *Geschätzte Isoproturonkonzentrationen in kleinen Gewässern im Jahr 2000 in µg/l*



Anmerkung: Berechnet wurden Frachten von Isoproturon aus Oberflächenabfluss, Dränage und Spraydrift, wobei über 99 % aus dem Oberflächenabfluss von Starkregenereignissen stammt. Für die Einzugsgebiete ist das 90-Perzentil der Konzentrationen angegeben, die sich aus der Verdünnung der Ereignisfrachten in den Tagesabflüssen des Einzugsgebietes ergeben. Damit stellt die Karte neben in kleinen Gewässern zu erwartenden Konzentrationsbereichen auch Schwerpunkte des Getreideanbaus dar, in denen der Wirkstoff angewandt wurde. Ähnliche Ergebnisse liegen für 58 andere Wirkstoffe vor.

Quelle: *Röpke, B., Bach, M. 2004*

Pflanzenschutzmittelabsatz in der Landwirtschaft

Der Absatz von Pflanzenschutzmitteln sank in Deutschland bis 1993. Seit 1994 ist vor allem bei Herbiziden ein erneuter Anstieg zu verzeichnen, der auch den Gesamt-Absatz wieder ansteigen lässt.

Aus den Angaben über den Inlandsabsatz (Verkauf) von Pflanzenschutzmitteln kann nicht unmittelbar auf den Verbrauch je Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche geschlossen werden, da die aufgebrachten Mengen je nach Anbauart und Fruchtfolge sowie den standörtlichen Bedingungen zum Teil erheblich variieren und die Präparate häufig über mehrere Jahre hinweg gelagert werden. Die tatsächlich ausgebrachten Mengen (Verbrauch) an Pflanzenschutzmitteln wurden bisher nicht statistisch erfasst. Viele moderne Betriebe führen jedoch bereits eine Schlagkartei, in der Art, Zeitpunkt und Menge der im Betrieb ausgebrachten Pflanzenschutzmittel für jedes Feld erfasst werden. Das novellierte Bundesnaturschutzgesetz (Bundesnaturschutz-Neuregelungsgesetz) vom 25. März 2002 fordert von der Landwirtschaft innerhalb der guten fachlichen Pra-

xis, eine schlagspezifische Dokumentation über den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln nach Maßgabe des landwirtschaftlichen Fachrechts zu führen. Die Umsetzung im landwirtschaftlichen Fachrecht ist derzeit noch nicht abgeschlossen.

Entscheidend für eine Bewertung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes aus Sicht des Umweltschutzes sind auch weniger die ausgebrachten Mengen als vielmehr die Wirkungsintensität oder Wirkungsäquivalente. Geringere Aufwandmengen und leichtere Abbaubarkeit verringern das Risiko, dass Pflanzenschutzmittel ins Grundwasser gelangen. Andererseits können moderne hochwirksame Pflanzenschutzmittel aus ökotoxikologischer Sicht trotz geringerer Dosierung das gleiche Gefährdungspotenzial wie ältere Mittel in hoher Dosierung aufweisen.

Für den Umweltschutz sind Pflanzenschutzmittel vor allem dann relevant, wenn ihre Wirkung über den ursprünglich vorgesehenen Zweck hinausgeht. Probleme, wie z.B. das Vorhandensein von „gebundenen Rückständen“ als Langzeithypothek im Boden, Spuren von Pflanzenschutzmitteln im Grundwasser, die Belastung benachbarter Biotope infolge Verwehungen und Verdunstungen mit nachfolgendem Niederschlag auf anderen Flächen, sind hier zu nennen. Bei den Pflanzenschutzmittelfunden im Wasser zeigt sich in den letzten Jahren eine Stagnation der Fundhäufigkeit; im Grundwasser sind die Funde sogar von 5 % auf 0,1 % zurückgegangen. Obwohl bereits seit 1991 verboten, nehmen Atrazin und sein Abbauprodukt immer noch eine Spitzenstellung im Grundwasser ein. Dies zeigt unter anderem die auch aus anderen Bereichen bekannte Verzögerung bei ökologischen Prozessen und rechtfertigt die strenge Zulassung in Deutschland. Moderne Pflanzenschutzmittel werden weit weniger im Grundwasser gefunden als alte.

Das europäische und das deutsche Pflanzenschutzrecht gewährleisten, dass nur auf ihre Umweltauswirkungen geprüfte Pflanzenschutzmittel in den Verkehr gebracht werden. Bei der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln sind seit 1987 weit über 200 Wirkstoffe und mehr als 1 200 Mittel geprüft worden. Sie sind die Grundlage für die Herstellung von z.Z. 1 156 Pflanzenschutzmitteln.

Maßnahmen in der Landwirtschaft

Die wichtigsten Maßnahmen zur Verringerung der Gewässerverschmutzung aus landwirtschaftlichen Quellen sind die Verschärfung der Anforderungen an die gute fachliche Praxis im Pflanzenschutz sowie die Anwendung und Weiterentwicklung des Schadschwellenprinzips im Pflanzenschutz:

- ausschließliche Verwendung abtriftarmer Geräte/Düsen. Eine entsprechende Förderung derartiger Geräte ist seit kurzem über die Gemeinschaftsaufgabe Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes (GAK) möglich,
- Feld- statt Hofreinigung sowie die Einführung einer Pflicht zur schlagspezifischen Aufzeichnung (Beide Vorgaben sind bereits Bestandteil der überarbeiteten, noch nicht veröffentlichten Grundsätze für die gute fachliche Praxis im Pflanzenschutz),
- effiziente Kontrolle unsachgemäßer und damit verbotener Anwendungen und Entsorgungen, die Kontrolle obliegt den Ländern,
- Entzug des Sachkundenachweises bei Verstößen gegen Auflagen,
- Anwendung und dynamische Konkretisierung der Vorgaben des integrierten Pflanzenschutzes (hier v.a. verbindliche Anwendung des Schadschwellenprinzips).

Weitere Chemisch-physikalische Gewässergütekarten (auf CD-ROM):

Abb. Ammonium-N (Gewässergütekarte 1994–2003)
Abb. Blei im Schwebstoff (Gewässergütekarte 1999–2003)
Abb. Cadmium im Schwebstoff (Gewässergütekarte 1998–2002)
Abb. Chrom im Schwebstoff (Gewässergütekarte 1999–2003)
Abb. Kupfer im Schwebstoff (Gewässergütekarte 1999–2003)
Abb. Nickel im Schwebstoff (Gewässergütekarte 1999–2003)
Abb. Nitrat-N (Gewässergütekarte 1994–2003)
Abb. Quecksilber im Schwebstoff (Gewässergütekarte 1999-2003)
Abb. Zink im Schwebstoff (Gewässergütekarte 1999–2003)

VI 2 Grundwasserqualität

Grundwasser ist ein Teil des Wasserkreislaufs und speist Bäche und Flüsse. Seine qualitative Beschaffenheit hat einen erheblichen Einfluss auf Oberflächengewässer. Eine enge Beziehung besteht ebenfalls zwischen dem oberflächennahen Grundwasser und grundwasserabhängigen Feuchtbiotopen.

Grundwasser ist in Deutschland die wichtigste Quelle für die Trinkwasserversorgung. Eine gute Qualität des Grundwassers ist damit von elementarer Bedeutung für eine sichere Wasserversorgung.

Ziel des Grundwasserschutzes ist es, diese Ressource weitestgehend vor Verunreinigungen zu schützen

und verunreinigte Grundwasservorkommen zu sanieren.

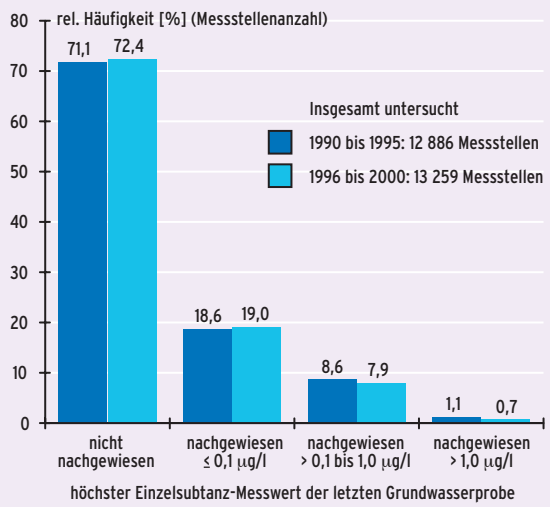
Wesentliche Belastungsfaktoren sind Pflanzenschutzmittel und Nitrat aus der Landwirtschaft.

VI 2.1 Pflanzenschutzmittel im Grundwasser

Von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) und dem Umweltbundesamt (UBA) wurde im Jahr 2003 ein aktueller „Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit-Pflanzenschutzmittel“ erstellt.

Die Bewertung der Situation der Pflanzenschutzmittel (PSM) im Grundwasser basiert auf den Untersuchungsergebnissen von 13 259 Messstellen im oberflächennahen Grundwasser im Zeitraum 1996 bis 2000 und 12 886 Messstellen im Zeitraum 1990 bis 1995 (Abb. VI 2.1-1).

Abb. VI 2.1-1: *Häufigkeitsverteilungen der PSM-Befunde im Grundwasser (in oberflächennah verfilterten Messstellen)*



Quelle: *Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 2004*

Bei 9 592 Messstellen (72,4 %) wurden keine PSM-Wirkstoffe oder -Metabolite nachgewiesen. Die Untersuchungen an 2 521 Messstellen (19 %) ergaben für mindestens einen PSM-Wirkstoff oder -Metabolit einen positiven Befund, bei dem die PSM-Konzentration allerdings unter 0,1 µg/l blieb. Eine Konzentration zwischen 0,1 und 1,0 µg/l trat bei 1 049 Messstellen (7,9 %) auf. Bei 97 Messstellen (0,7 %) wurde sogar eine Konzentration von mehr als 1,0 µg/l für eine PSM-Einzelsubstanz und einen Metabolit festgestellt. Ein Vergleich der PSM-Belastung für die Zeiträume 1990-1995 und 1996-2000 zeigt, dass die Gesamtsituation in den letzten Jahren nahezu unverändert geblieben ist. Die relative Häufigkeit der Messstellen mit hohen PSM-Gehalten ist etwas zurückgegangen. Da sich die Messergebnisse nicht auf ein festes, repräsentatives Messnetz beziehen, sind die Veränderungen der Fundhäufigkeiten noch zu gering, um daraus auf eine signifikante Verminderung der Grundwasserbelastung durch Pflanzenschutzmittel schließen zu können.

Die wirkstoffbezogene Auswertung fasst die Untersuchungsergebnisse aus den Ländern für jede PSM-Einzelsubstanz zusammen. Insgesamt lagen für den Berichtszeitraum 1996 bis 2000 Untersuchungsergebnisse für 257 verschiedene Einzelsubstanzen vor (Tab. VI 2.1-1).

Nach wie vor wird die Liste „Häufig nachgewiesene PSM-Wirkstoffe und -Metabolite im oberflächennahen Grundwasser Deutschlands“ angeführt von Desethylatrazin. Es folgen die Wirkstoffe Atrazin und Bromacil, obwohl seit 1990 atrazin- und bromacilhaltige Pflanzenschutzmittel über keine Zulassung mehr verfügen und für beide Wirkstoffe vollständige Anwendungsverbote gemäß Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung bestehen. Immerhin ist die Anzahl der Messstellen mit Atrazin-Befunden größer 0,1 µg/l von 519 auf 272 und mit Bromacil-Befunden von 217 auf 177 zurückgegangen. Bedenklich ist die Zunahme der Anzahl von Messstellen mit Befunden größer 0,1 µg/l bei Bentazon. Bemerkenswert ist auch, dass mit dem Wirkstoff Ethidimuron und dem Abbauprodukt 2,6-Dichlorbenzamid zwei Einzelsubstanzen mit einer hohen relativen Fundhäufigkeit in Konzentrationen größer 0,1 µg/l neu hinzugekommen sind. Von den zwanzig am häufigsten nachgewiesenen PSM-Einzelsubstanzen sind zurzeit acht Wirkstoffe Bestandteil von in Deutschland zugelassenen Pflanzenschutzmitteln. Für die Wirkstoffe Bentazon, Diuron, Mecoprop, Isoproturon, Terbuthylazin und Metolachlor sind von der BBA bzw. BVL Fundaufklärungen veranlasst worden.

Neben der Beschreibung der aktuellen Belastungssituation ist vor allem die Ermittlung der zeitlichen Entwicklung der PSM-Belastung von Interesse.

In der Abb. VI 2.1-2 ist die Entwicklung der Atrazin-Befunde dargestellt. Es ist festzustellen, dass die Zahl der Messstellen, die mittlere bis sehr hohe Atrazingehalte aufwiesen, abnimmt. Vor allem die Anzahl extrem belasteter Messstellen mit Konzentrationen > 1 µg/l Atrazin ist im Gesamtzeitraum von 1992 bis 2000 von 14 auf drei Messstellen gesunken. Eine ähnliche Entwicklung ist auch für Desethylatrazin zu beobachten.

Weitere Auswertungen sind im LAWA PSM-Bericht (2004) für Desethylatrazin, Diuron und Bentazon beschrieben.

Tab. VI 2.1-1: *Häufig nachgewiesene PSM-Wirkstoffe und -Metabolite im oberflächennahen Grundwasser (Rangfolge nach Anzahl der Messstellen mit Befunden > 0,1 µg/l)*

Rangfolge 1996–2000	Rangfolge 1990–1995	Wirkstoff / Metabolit	Anzahl der untersuchenden Bundesländer	Anzahl der Messstellen letzter Messwert an der Messstelle insg. untersucht	nicht nachgewiesen	nachgewiesen ≤ 0,1 µg/l	nachgewiesen > 0,1 bis ≤ 1,0 µg/l	nachgewiesen > 1,0 µg/l
1	1	*Desethylatrazin*	15	12 167	9 882	1 715	557	13
2	2	Atrazin	16	12 353	10 472	1 609	262	10
3	3	Bromacil	13	8 176	7 855	144	151	26
4	9	**Bentazon**	15	8 578	8 313	195	61	9
5	6	**Diuron**	16	10 078	9 845	166	50	17
6	4	Simazin	16	12 084	11 563	454	62	5
7	5	Hexazinon	13	7 702	7 526	119	51	6
8	8	*Desisopropylatrazin*	15	10 479	10 207	216	51	5
9	– [2]	*2,6-Dichlorbenzamid*	5	2 362	2 215	98	46	3
10	10	**Mecoprop (MCPP)**[3]	15	7 851	7 690	119	37	5
11	– [2]	Ethidimuron	6	689	658	4	10	17
12	7	Propazin	13	8 173	7 980	168	21	4
13	– [2]	1,2-Dichlorpropan[1]	4	984	948	12	16	8
14	12	**Isoproturon**	16	10 838	10 675	145	18	0
15	17	**Dichlorprop (2,4-DP)**[3]	15	7 101	6 998	92	10	1
16	15	**Terbuthylazin**	13	8 122	8 035	78	9	0
17	13	**Metolachlor**	15	7 961	7 875	78	7	1
18	18	*Desethylterbuthylazin*	12	7 505	7 465	32	7	1
19	16	Chlortoluron	14	6 116	6 039	71	5	1
20	– [2]	**Metazachlor**	13	11 098	11 009	83	6	0

fett: Wirkstoffe, die Bestandteil zur Zeit zugelassener Pflanzenschutzmittel sind;
kursiv: Metabolite (Abbauprodukte) von PSM-Wirkstoffen; (die anderen Stoffe sind in zugelassenen Pflanzenschutzmitteln nicht enthalten)

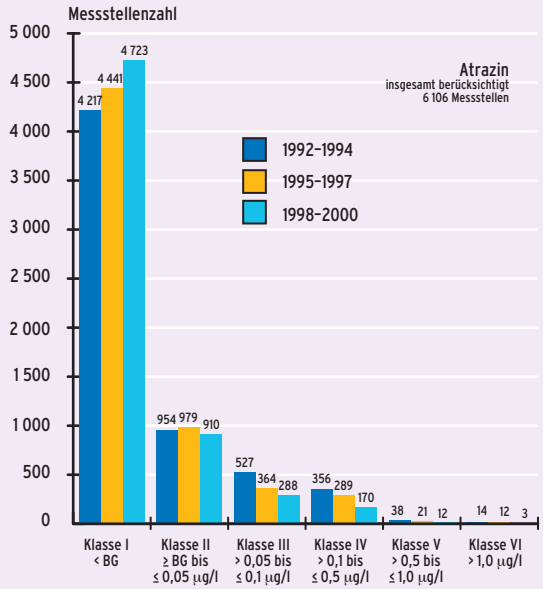
[1] 1,2-Dichlorpropan kam im Stoffgemisch mit dem eigentlichen Wirkstoff 1,3-Dichlorpropen (vollständiges Anwendungsverbot) zur Anwendung, wird aber von einigen Ländern ebenfalls als PSM-Einzelsubstanz geführt

[2] Diese Einzelsubstanz wurde im Berichtszeitraum 1990 bis 1995 an sechs oder weniger Messstellen in einer Konzentration > 0.1 µg/l bestimmt und zählte damit nicht zu den 20 am häufigsten nachgewiesenen PSM-Wirkstoffen bzw. -Metaboliten

[3] Als Wirkstoffe in Pflanzenschutzmitteln sind Mecoprop-P bzw. Dichlorprop-P zugelassen

Quelle: *Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 2004*

Abb. VI 2.1-2: *Häufigkeitsverteilungen von Atrazin im oberflächennahen Grundwasser*



Quelle: *Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 2004*

Anders stellt sich die Situation für Diuron und Bromacil dar. Die Gesamtanzahl der durch Diuron belasteten Messstellen (≥ Bestimmungsgrenze = BG) bleibt in den betrachteten Zeitintervallen nahezu gleich, trotz des Anwendungsverbotes auf Gleisanlagen. Bei Bentazon ist sogar von einer gewissen Zunahme der Grundwasserbelastung auszugehen.

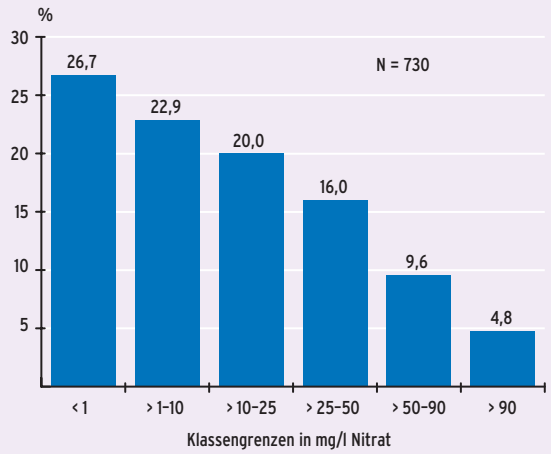
VI 2.2 Nitratgehalte des Grundwassers

Belastungen des Grundwassers durch Nitrat sind eine ernstzunehmende Beeinträchtigung der Umweltqualität. Erhöhte Nitratgehalte haben negative Auswirkungen auf die Ökologie der Gewässer, können aber auch zu einer Beeinträchtigung der Trinkwasserqualität und damit zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen.

Zur Überwachung des Grundwasserzustandes haben die Bundesländer landeseigene Messnetze eingerichtet. Der Parameter „Nitrat“ wird an fast allen Messstellen dieser Netze regelmäßig untersucht.

Für eine regelmäßige Berichterstattung an die Europäische Umweltagentur über den Zustand des Grundwassers in Deutschland wurden von den Ländern repräsentative Messstellen ausgewählt und zum sogenannten EUA-Grundwassermessnetz zusammengefasst. Für einen bundesweiten Überblick für das Jahr 2002 wurden die an ca. 730 Messstellen des EUA-Messnetzes nachgewiesenen Nitratgehalte ausgewertet (Abb. VI 2.2-1).

Abb. VI 2.2-1: *Verteilung der Nitratgehalte im Grundwasser (2002)*



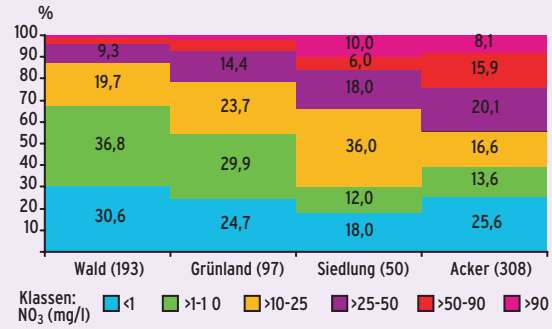
Quelle: *Umweltbundesamt 2004 b*

Die Höhe der Nitratkonzentration hängt von einer ganzen Reihe verschiedener Einflussfaktoren ab. In besonderem Maße ist die Nitratbelastung jedoch von der Landnutzung im Einzugsgebiet einer Messstelle abhängig. Daneben spielen die regionalen hydrogeologischen Bedingungen, wie Grundwasserflurabstand und Fließgeschwindigkeit, sowie die hydrochemischen Bedingungen im Untergrund eine wichtige Rolle.

Die Abb. VI 2.2-1 zeigt, dass 69,6 % der Messstellen im Konzentrationsbereich ≤ 25 mg/l liegen. An 14,4 % aller Messstellen wird allerdings der Grenzwert der Nitratrichtlinie (50 mg/l), der mit dem der Trinkwasserverordnung identisch ist, zum Teil deutlich überschritten. Nach der Wasserrahmenrichtlinie wäre das Grundwasser hier in einem schlechten Zustand und Maßnahmen zur Verbesserung der Grundwasserbeschaffenheit wären erforderlich.

Sucht man nach den wesentlichen Ursachen für die Belastung des Grundwassers durch Nitrat, so bestätigt die Abb. VI 2.2-2 die Vermutung, dass die Nutzung eine wesentliche Rolle spielt. Gliedert man die Messstellen nach der Nutzung in ihrem unmittelbaren Umfeld, so zeigt sich, dass die höchsten Nitratbelastungen unter Ackerflächen festzustellen sind. In dieser Gruppe weisen 44,1 % der Messstellen Nitratbelastungen von mehr als 25 mg/l auf. Unter

Abb. VI 2.2-2: *Verteilung der Nitratgehalte (2002) für die Messstellen des EUA-Grundwassermessnetzes, gegliedert nach der Landnutzung aus CORINE LAND-COVER (punktbezogene Zuordnung der Messstellen)*



Quelle: *Umweltbundesamt 2004 b*

Wald bzw. Grünlandnutzung sind es hingegen nur 12,9 % bzw. 21,7 % der Messstellen. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Gruppen werden noch deutlicher, falls man auch die Landnutzung im weiteren Umfeld der Messstellen (Einzugsgebiet) berücksichtigt.

Der Parameter Nitrat zeigt für viele Regionen Deutschlands sehr gut, in welchem Umfang diffuse Stickstoffeinträge zur Belastung des Grundwassers beitragen. Die weitere Entwicklung der Nitratbelastung wird Hinweise geben, ob die seit Jahren laufenden Programme zur Minderung der Nitratbelastung ausreichen, um einen guten Zustand des Grundwassers zu erreichen.

Zum Schutz der menschlichen Gesundheit legt die EG-Trinkwasserrichtlinie für Nitrat einen Grenzwert von 50 mg/l fest. Nach der EG-Nitratrichtlinie wird bei einer Konzentration von über 50 mg/l Nitrat im Grundwasser von einem Belastungsgebiet gesprochen. Erst bei Werten unterhalb von 25 mg/l kann die Häufigkeit der Nitratüberwachung reduziert werden.

Die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) orientiert sich an den Vorgaben der EG-Nitratrichtlinie. Grundwasser ist nach der WRRL in einem „schlechten Zustand“, wenn es mehr als 50 mg/l Nitrat enthält. In diesem Fall sind Maßnahmen zur Verminderung der Nitratbelastung zwingend erforderlich.

Eine Reduzierung erhöhter Nitratkonzentrationen im Grund- und Oberflächenwasser kann nur durch Verminderung der Einträge erreicht werden. Da die landwirtschaftliche Nutzung gegenwärtig der größte Verursacher nachgewiesener Belastungen ist, können Minderungsmaßnahmen zum Abbau von Nitratüberschüssen entsprechend den Vorgaben der Nitratrichtlinie durch konsequente Umsetzung der Düngeverordnung hier einen wesentlichen Beitrag leisten.

VI 3 Meere

Meeresökosysteme sind Senken für Stoffe, die über die Atmosphäre und Flüsse herantransportiert werden. Dazu gehören zahlreiche gefährliche Stoffe sowie die Nährsalze Stickstoff und Phosphat. Gefährliche Stoffe werden auf ihrem Transport nur sehr langsam abgebaut und sind heute in teilweise beträchtlichen Mengen in der Meeresumwelt nachweisbar, vor allem, wenn sie sich in Organismen oder im Nahrungsnetz oder in Sedimenten anreichern. Unter gefährlichen Stoffen versteht man Stoffe oder Stoffgruppen, die langlebig (persistent) sind, sich biologisch anreichern (bioakkumulieren) und toxisch sind (sog. PBT-Stoffe) oder ein vergleichbares Gefährdungspotential aufweisen (z. B. Schwermetalle, endokrin wirksame Stoffe). Die Nährsalze können zu einer Überdüngung (Eutrophierung) führen, die unerwünschte Effekte wie außergewöhnliche und giftige Algenblüten, Massenentwicklungen von Großalgen bis hin zu Sauerstoffmangel wegen mikrobieller sauerstoffzehrender Abbauprozesse haben kann.

Die Überwachung der Einträge und der Belastung der Nord- und Ostsee sowie Maßnahmen zu ihrer Reduzierung sind auf internationaler und nationaler Ebene geregelt:

Die Vertragsparteien der Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Ostseegebiets (Helsinki-Übereinkommen) und des Nordostatlantiks (OSPAR-Übereinkommen) haben Strategien bezüglich gefährlicher Stoffe beschlossen. Ziel ist, die Verschmutzung des Meeresgebietes durch kontinuierliche Verringerung von Einleitungen, Emissionen und Verlusten gefährlicher Stoffe zu verhüten, um schließlich „den Hintergrundwerten nahekommende Konzentrationen bei natürlich vorkommenden gefährlichen Stoffen und Konzentrationen nahe Null bei industriell hergestellten synthetischen gefährlichen Stoffen“ bis zum Jahr 2020 zu erreichen (Generationsziel).

OSPAR hat zum Schutz des Nordostatlantiks und der Nordsee zwei Stofflisten erstellt, um festzulegen, für welche Stoffe dieses Ziel erreicht werden soll.

Ausgehend von einer Liste zahlreicher Stoffe von Besorgnis wählte die Helsinki-Kommission (HELCOM) 42 gefährliche Stoffe für prioritäre Maßnahmen zum Schutz der Ostsee aus. Diese umfassen Pflanzenschutzmittel und Biozide (z.B. Lindan und Pentachlorphenol), Metalle und Metallverbindungen (z.B. Quecksilber und Blei) sowie industriell hergestellte Stoffe (wie kurzkettige Chlorparaffine und Nonylphenole).

Die OSPAR Strategie zur Bekämpfung der Eutrophierung zielt auf eine gesunde Meeresumwelt bis 2010 in der Eutrophierung nicht mehr auftritt. HELCOM hat sich ein vergleichbares Ziel gesetzt: Verringerung der Eutrophierung, um die ökologische Balance der Ostsee wieder her- und ein funktionierendes marines Ökosystem sicherzustellen.

Eine Maßnahme zur Erreichung dieser Ziele waren und sind die unter beiden Übereinkommen gefassten Beschlüsse zur Reduktion der Einträge ausgewählter gefährlicher Stoffe und Nährsalze in der Größenordnung von 50 % (für vier Schadstoffe 70 %) im Zeitraum von 1985 (1987 für HELCOM) – 1995. Für die in diesem Zeitraum nicht erreichten Reduktionsziele besteht diese Verpflichtung fort.

Die Überwachung der Konzentrationen von gefährlichen Stoffen und Nährsalzen in den Meeren erfolgt in Deutschland durch das Bund/Länder-Messprogramm für die Meeresumwelt von Nord- und Ostsee (BLMP) je nach ihrer Zuständigkeit durch Institutionen des Bundes und der Küstenländer. Mit dem BLMP werden die Pflichten erfüllt, die sich aus den Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Ostseegebietes und des Nordostatlantiks sowie aus den Richtlinien der Europäischen Union ergeben. Die Umweltprobenbank des Umweltbundesamtes ist am BLMP mit Untersuchungen an marinen Organismen beteiligt. Das UBA ist zuständig für die Qualitätssicherung und unterstützt die Datenhaltung in der MUDAB.

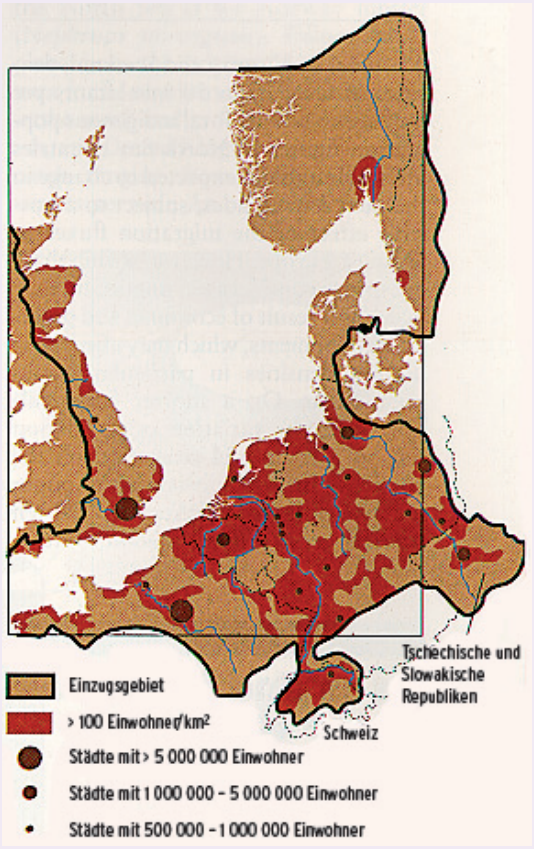
Bei der Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (Richtlinie 2000/60/EG, WRRL) werden zukünftig 33 gefährliche Stoffe regelmäßig nach einer Liste prioritärer Stoffe (Anhang X der WRRL gemäß Entscheidung Nr. 2455/2002/EG) im Küstenwasser der Nord- und Ostsee untersucht. Umweltqualitätsnormen für die Konzentrationen dieser 33 prioritären Stoffe im Wasser wurden erarbeitet, aber bisher noch nicht verabschiedet. Sind ein oder mehrere Qualitätsnormen überschritten, so ist der gute chemische Zustand und damit auch der gute Zustand des Oberflächengewässers nicht erreicht. Die Nährsalze Stickstoff und Phosphat zählen wie auch Sauerstoff zu den unterstützenden Qualitätselementen der WRRL, die gemeinsam mit den biologischen überwacht und bewertet werden.

VI 3.1 Nordsee

VI 3.1.1 Wassereinzugsgebiet der Nordsee

Das Wassereinzugsgebiet der Nordsee umfasst eine Fläche von rund 842 000 km^2 (Abb. VI 3.1.1-1), in dem 184 Mio. Einwohner leben. Der jährliche Flusswassereintrag beträgt ca. 300 km^3, unterliegt

Abb. VI 3.1.1-1: *Einzugsgebiet der Nordsee*



Quelle: *OSPAR-Kommission 2000*

jedoch starken jährlichen Schwankungen, dies wirkt sich auf den Transport von Schadstoffen aus. Die Schmelzwassermengen, die nach der Schneeschmelze von Norwegen und Schweden in die Nordsee gelangen, stellen allein ein Drittel der gesamten Flusswasserzufuhr. Ein weiterer beträchtlicher Teil gelangt über die großen Nordseezuflüsse Rhein, Elbe, Weser, Maas, Schelde, Seine, Themse und Humber in das Meer. Die Einzugsgebiete dieser Flüsse sind dicht besiedelt, hoch industrialisiert und intensiv landwirtschaftlich genutzt. Folglich zählen diese Flusssysteme zu den hauptsächlichen Schadstoff- und Nährstoffquellen der Nordsee (Tab. VI 3.1.1-1).

VI 3.1.2 Emissionen in die Oberflächengewässer

Emissionen der Anliegerstaaten in die Oberflächengewässer im Nordsee-Einzugsgebiet

Zur Bilanzierung der von Land ausgehenden Einträge in die Nordsee werden die anthropogenen Stoffeinträge aus punktuellen und diffusen Quellen im gesamten Nordsee-Einzugsgebiet quantifiziert.

Anlässlich der Internationalen Nordseeschutz-Konferenzen 1987 (London) und 1990 (Den Haag) haben

Tab. VI 3.1.1-1: *Mittlerer jährlicher Abfluss aus verschiedenen Teilgebieten in die Nordsee*

Gebiet	Durchfluss in km^3/a	Einzugsgebiet in km^2
Norwegische Küste	58–70	45 500
Küste des Skageraks und Kattegats	58–70	102 200
Dänische und deutsche Küste (einschließlich des dänischen und deutschen Wattenmeers)	32	219 900
Niederländische und belgische Küste (einschließlich des niederländischen Wattenmeers und Rhein, Maas und Schelde)	91–97	221 400
Englische und französische Küste am Ärmelkanal (einschließlich Seine)	9–37	137 000
Englische Ostküste (einschließlich Tyne, Tees, Humber und Themse)	32	74 500
Schottische Küste	16	41 000
Gesamte Nordsee	**296–354**	**841 500**
Gesamtes Wattenmeer	**60**	**230 000**

Quelle: *OSPAR-Kommission 2000*

die Minister aller Nordseeanliegerstaaten Maßnahmen zur Reduzierung der Einträge von Nährstoffen und ausgewählter gefährlicher Stoffe in der Größenordnung von 50 % im Zeitraum von 1985–1995 beschlossen. Für diejenigen Stoffe, die das Ziel der Eintragsreduzierung bis 1995 (Esbjerg) nicht erreichten, wurde das Ziel bis 2000 fortgeschrieben. Bei der Internationalen Nordseeschutz-Konferenz 2002 (Bergen) wurde eine abschließende Bilanz gezogen.

Im Nachfolgenden werden die Ergebnisse für Deutschland (Stand Ende 2003 für Nährstoffe und Stand Ende 2002 für Schwermetalle und Lindan) aufgeführt.

Emissionen in die Oberflächengewässer im deutschen Nordsee-Einzugsgebiet

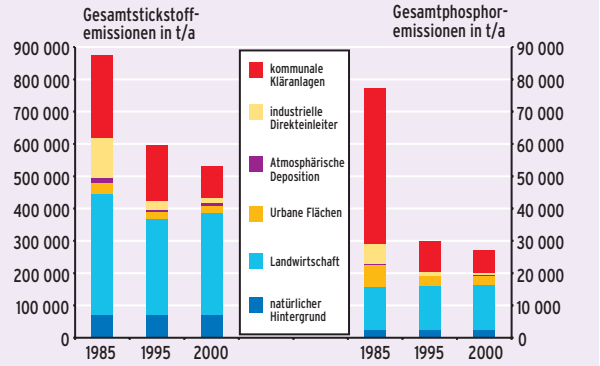
Nährstoffe

Die Emissionen in die Oberflächengewässer im deutschen Nordsee-Einzugsgebiet lagen 1985 bei 875 030 t/a Stickstoff und 77 170 t/a Phosphor und im Jahr 2000 bei 530 770 t/a Stickstoff und 27 140 t/a Phosphor. Die Stickstoff- und Phosphoremissionen in die Oberflächengewässer des deutschen Nordsee-Einzugsgebietes sind in 2000 gegenüber dem Vergleichsjahr 1985 damit um 39 % Stickstoff und 65 % Phosphor zurückgegangen. Die Bilanzierung der Nährstoffemissionen in die Oberflächengewässer im deutschen Nordsee-Einzugsgebiet zeigt, dass die Reduktionsziele (Verringerung um jeweils

50 %) zwar für Phosphor, jedoch nicht für Stickstoff erreicht wurden.

Die Verringerung der Stickstoffemissionen um 39 % konnte hauptsächlich durch den starken Rückgang der Stickstoffemissionen aus punktuellen Quellen (um 70 %) erreicht werden. Demgegenüber ist für die Stickstoffemissionen aus diffusen Quellen nur eine Verminderung um ca. 16 % zu verzeichnen. Im Jahr 2000 stammen ca. 60 % der Gesamtstickstoffemissionen aus der Landwirtschaft, wobei die Emissionen über den Grundwasserpfad (54 %) und über die Dränagen (15 %) eine entscheidende Rolle spielen. Die Stickstoffeinträge über die Eintragspfade Erosion, Abschwemmungen aus vorwiegend landwirtschaftlichen Flächen und atmosphärische Deposition tragen zu den gesamten Einträgen in die Oberflächengewässer mit jeweils ca. 2 % nur in geringem Maße bei. Der Anteil der Stickstoffemissionen aus Punktquellen betrug in 2000 ca. 21 %. (Abb. VI 3.1.2-1 und Tab. VI 3.1.2-1).

Abb. VI 3.1.2-1: *Stickstoff- und Phosphoremissionen*



Quelle: *Umweltbundesamt 2003*

Die Reduzierung der Phosphoremissionen um 65 % ist ebenfalls vorwiegend auf die Verminderung der Emissionen aus punktuellen Quellen in der Größenordnung von etwa 86% zurückzuführen. Die Phosphoremissionen aus diffusen Quellen sind um 15 % zurückgegangen. Dies ergab sich vor allem aus der Verminderung der Phosphoreinträge aus dem Abfluss von befestigten Flächen und der atmosphärischen Deposition. Obwohl die Emissionen über den Grundwasserpfad um ca. 15 % abgenommen haben, stiegen die Phosphoremissionen aus der Landwirtschaft um ca. 6 % zwischen 1995 und 2000. Das ist vor allem auf die erhöhten Einträge über die Erosion zurückzuführen, so dass die Erosion in 2000 mit 24 % den dominierenden diffusen Eintragspfad darstellt. Angesichts der enormen Verminderung der Phosphoremissionen aus Punktquellen stellen im Jahre 2000 nunmehr die diffusen Eintragsquellen mit etwa 71 % den dominierenden Eintragspfad dar, wobei allein ca. 51 % der Landwirtschaft zuzurechnen sind (Abb. VI 3.1.2-1 und Tab. VI 3.1.2-1). Aus Gründen der Vereinfachung werden die Untersuchungszeiträume der Studie, die Jahre von 1983 bis 1987, von 1993 bis 1997 und 1998 bis 2000, mit den Jahren 1985, 1995 und 2000 angegeben.

Schwermetalle und Lindan

Die Schwermetall- und Lindanemissionen in die Oberflächengewässer im deutschen Nordseeeinzugsgebiet sind zwischen 1985 und 2000 stark zurückgegangen. Außer für Arsen und Nickel, bei denen der nicht beeinflussbare geogene Anteil recht hoch ist, wurden die geforderten Reduktionsvorgaben der Internationalen Nordseeschutzkonferenz in der Größenordnung von 50 % (Cr, Cu, Ni, Zn, das Metalloid As, und Lindan), beziehungsweise 70 % (Cd, Hg, Pb) für die genannten Schwermetalle und Lindan erreicht oder überschritten. Sie liegen zwischen 41 % bei Nickel und 87 % bei Quecksilber und sind vor allem auf die drastische Reduzierung der industriellen Direkteinträge von 74 % für Nickel und bis zu 95 % für Quecksilber zurückzuführen. Einen entscheidenden Beitrag zu dieser Umweltentlastung haben Maßnahmen im Bereich der Industrie auf Grund verschärfter gesetzlicher Anforderungen geleistet, aber vor allem auch der seit 1990 eingetretene Rückgang industrieller Aktivitäten in den neuen Bundesländern (Elbeeinzugsgebiet). Im Jahr 2000 spielten industrielle Direkteinleitungen nur noch eine untergeordnete Rolle. Die Bedeutung der Einleitungen aus kommunalen Kläranlagen war zwar nach wie vor hoch, jedoch werden im Jahre 2000 die Gewässerbelastungen durch diffuse Quellen dominiert. Die wichtigsten Eintragspfade waren dabei urbane Flächen (vor allem Kanalisationen und nicht an die Kanalisation angeschlossene Einwohner), die Erosion und der Grundwasserzufluss
(Abb. VI 3.1.2-2).

Ein wesentlicher Schwermetalleintrag in die Oberflächengewässer stammt aus urbanen Flächen, zu denen Einträge aus Misch- und Trennsystemen gehören. Diese Mischwasserentlastungen und Niederschlagsabflüsse aus Trennsystemen verursachen 10 – 40 % der gesamten Schwermetallemissionen. Dabei werden besonders hohe Anteile bei Zink, Blei und Kupfer erreicht. Da in den Mischsystemen ein nicht unbedeutender Anteil des Niederschlagsabflusses zur Kläranlage weitergeleitet wird, ergibt sich bezogen auf Schwermetalle eine geringere Gewässerbelastung als beim Trennsystem. Durch Erosion werden vor allem die Metalle Chrom und Blei in die Gewässer eingetragen. Bei Arsen (45 %) und Nickel (54 %) überwiegen die geogenen Emissionen (Grundwasserpfad). Signifikante Belastungsunterschiede bestehen zwischen den einzelnen Flussge-

Tab. VI 3.1.2-1: *Emissionen von Phosphor und Stickstoff aus dem deutschen Einzugsgebiet der Nordsee*

		Stickstoffemissionen in t/a						
		1985		1995		2000		Reduktion 1985–2000
	Diffuse Eintragspfade:							
1	Grundwasser	307 810	35,2 %	264 960	44,4 %	285 540	53,8 %	-7 %
2	Dränwasser	118 970	13,6 %	85 700	14,4 %	79 930	15,1 %	-33 %
3	Erosion	9 120	1,0 %	10 650	1,8 %	10 490	2,0 %	15 %
4	Abschwemmung	10 150	1,2 %	6 800	1,1 %	9 350	1,8 %	-8 %
5	Urbane Flächen	34 430	3,9 %	21 410	3,6 %	21 270	4,0 %	-38 %
6	Atmosphärische Deposition	15 850	1,8 %	8 680	1,5 %	11 150	2,1 %	-30 %
1-6	**Summe diffusen Quellen**	**496 330**	**57 %**	**398 200**	**67 %**	**417 730**	**79 %**	**-16 %**
	davon entfallen auf:							
7	natürliche Hintergrundfracht	70 920	8,1 %	70 920	11,9 %	70 920	13,4 %	0 %
8	Landwirtschaft (1-4 minus 7)	375 130	43 %	297 190	50 %	314 390	59 %	-16 %
	Punktquellen:							
9	industrielle Direkteinleiter	122 230	14 %	25 070	4 %	14 340	3 %	-88 %
10	kommunale Kläranlagen	256 470	29 %	173 110	29 %	98 700	19 %	-62 %
9-10	**Summe Punktquellen**	**378 700**	**43 %**	**198 180**	**33 %**	**113 040**	**21 %**	**-70 %**
1-6 + 9-10	**Einträge insgesamt**	**875 030**	**100 %**	**596 380**	**100 %**	**530 770**	**100 %**	**-39 %**

		Phosphoremissionen in t/a						
		1985		1995		2000		Reduktion 1985–2000
	Diffuse Eintragspfade:							
1	Grundwasser	5 587	7,2 %	4 702	15,8 %	4 757	17,5 %	-15 %
2	Dränwasser	3 325	4,3 %	3 083	10,3 %	3 087	11,4 %	-7 %
3	Erosion	5 235	6,8 %	6 634	22,2 %	6 597	24,3 %	26 %
4	Abschwemmung	1 438	1,9 %	1 690	5,7 %	1 896	7,0 %	32 %
5	Urbane Flächen	7 004	9,1 %	2 903	9,7 %	2 816	10,4 %	-60 %
6	Atmosphärische Deposition	263	0,3 %	185	0,6 %	185	0,7 %	-30 %
1-6	**Summe diffusen Quellen**	**22 852**	**30 %**	**19 197**	**64 %**	**19 338**	**71 %**	**-15 %**
	davon entfallen auf:							
7	natürliche Hintergrundfracht	2 477	3,2 %	2 477	8,3 %	2 477	9,1 %	0 %
8	Landwirtschaft (1-4 minus 7)	13 108	17 %	13 632	46 %	13 860	51 %	6 %
	Punktquellen:							
9	industrielle Direkteinleiter	6 163	8,0 %	1 104	3,7 %	810	3,0 %	-87 %
10	kommunale Kläranlagen	48 153	62,4 %	9 516	31,9 %	6 994	25,8 %	-85 %
9-10	**Summe Punktquellen**	**54 316**	**70 %**	**10 620**	**36 %**	**7 804**	**29 %**	**-86 %**
1-6 + 9-10	**Einträge insgesamt**	**77 168**	**100 %**	**29 817**	**100 %**	**27 142**	**100 %**	**-65 %**

Quelle: *Umweltbundesamt 2003*

bieten wegen der jeweiligen Landnutzung und klimatischer Faktoren.

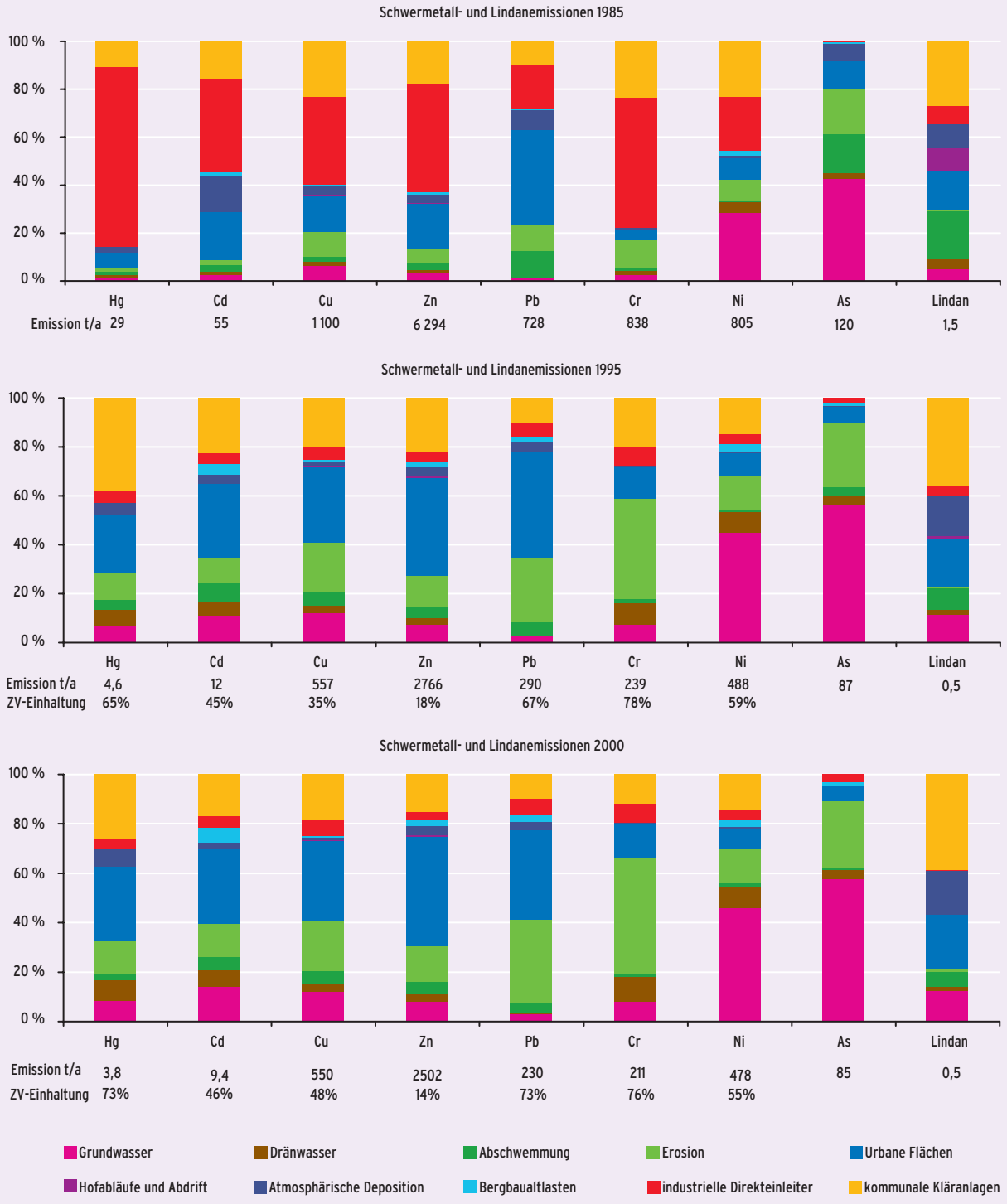
Der Rückgang der Lindanemissionen in die Oberflächengewässer im deutschen Nordseeeinzugsgebiet von 1985 bis 2000 hängt vor allem damit zusammen, dass die Lindananwendung in Deutschland seit der Mitte der 80er Jahre stark eingeschränkt wurde, und Lindan seit 1997 als Pflanzenschutzmittel nicht mehr zugelassen ist. Da bereits in der Umwelt befindliches Lindan nur sehr langsam abgebaut wird, ist es nach wie vor in der Atmosphäre, im Boden und im Wasser zu finden und wurde auch im Jahr 2000 in die Oberflächengewässer eingetragen, woran Einträge aus versiegelten Flächen einen wesentlichen Anteil hatten.

VI 3.1.3 Flusseinträge und direkte Einträge

Flusseinträge und direkte Einträge der Anliegerstaaten in die Nordsee

Seit 1990 werden für die OSPAR-Kommission Daten zu Einträgen von Nähr- und Schadstoffen in die Nordsee über Flüsse sowie direkte Einträge in die Nordsee zusammengestellt und bewertet. Unter direkten Einträgen in die Nordsee sind kommunale und industrielle Stoffeinträge in die Flussmündungsgebiete und entlang der Küsten zu verstehen, die unterhalb der Messstelle im Fluss (Tide- oder Süßwassergrenze) erfolgen und demzufolge in den Daten dieser Messstellen nicht erfasst sind. Dementsprechend sind auch die ermittelten Flusseinträge (Immissionen an der Tide oder Süß-

Abb. VI 3.1.2-2: *Schwermetall- und Lindanemissionen*



Quelle: *Umweltbundesamt 2002*

wassergrenze) oft um ein Vielfaches höher als die direkten Einträge.

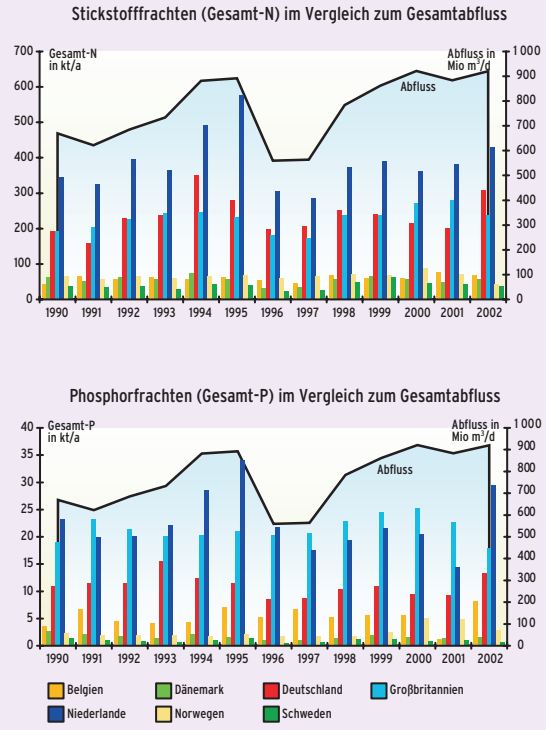
In Deutschland werden die für die OSPAR-Kommission benötigten Daten von den Bundesländern Schleswig-Holstein, Niedersachsen und Bremen sowie von den Arbeitsgemeinschaften für die Reinhaltung der Elbe (ARGE Elbe) und der Weser (ARGE Weser) für die Flussgebiete der Elbe, Weser, Ems und Eider erhoben.

Auf den Zeitraum 1990–2002 bezogen, stammen die höchsten Einträge an Nährstoffen und Schwermetallen in die Nordsee aus Deutschland, Großbritannien und den Niederlanden. Die niederländischen Nähr- und Schadstoffeinträge stammen nicht alle aus dem Lande selber sondern enthalten auch Anteile aus den schweizerischen, französischen und deutschen Rheineinzugsgebieten. Die deutschen Elbeeinträge enthalten auch Nähr- und Schadstoffanteile aus dem Einzugsgebiet der Elbe in der Tschechischen Republik.

1990 wurden insgesamt ca. 1 015 000 t Stickstoff und ca. 75 000 t Phosphor über die Flüsse der Nordseeanliegerstaaten in die Nordsee eingetragen. Die eingetragene Stickstoffmenge betrug 2002 ca. 1 180 000 t, die Phosphoreinträge lagen 2002 bei ca. 74 000 t. Beim Vergleich der Nährstoffeinträge über die Flüsse und den direkten Einträgen in die Nordsee von 1990 bis 2002 ist die von Jahr zu Jahr unterschiedliche Abflussrate zu berücksichtigen. So betrug der Abfluss in den Nassjahren 1994/1995 und 2000–2002 fast das Doppelte des Abflusses der Trockenjahre 1990 und 1996/1997. Dies ist auch die Ursache für die erhöhten Stickstoffeinträge 1994/1995 und 2000–2002 (Abb. VI 3.1.3-1).

Trotz der Beeinflussung durch die Abflussraten wird aus den Ergebnissen der Jahre von 1990 bis 2002 deutlich, dass vor allem die Quecksilber- und Cadmiumeinträge über die Flüsse von fast allen Nordseeanliegerstaaten erheblich zurückgegangen sind. Aus den abnehmenden Schadstofffrachten lässt sich ablesen, dass die durchgeführten Maßnahmen zur Verringerung der Einleitungen aus kommunalen und industriellen Abwassereinleitungen greifen und zu einer Verbesserung der Wasserqualität der Nordseezuflüsse geführt haben (Abb. VI 3.1.3-2).

Abb. VI 3.1.3-1: *Nährstoffeinträge der Anrainerstaaten in die Nordsee (Region II)*



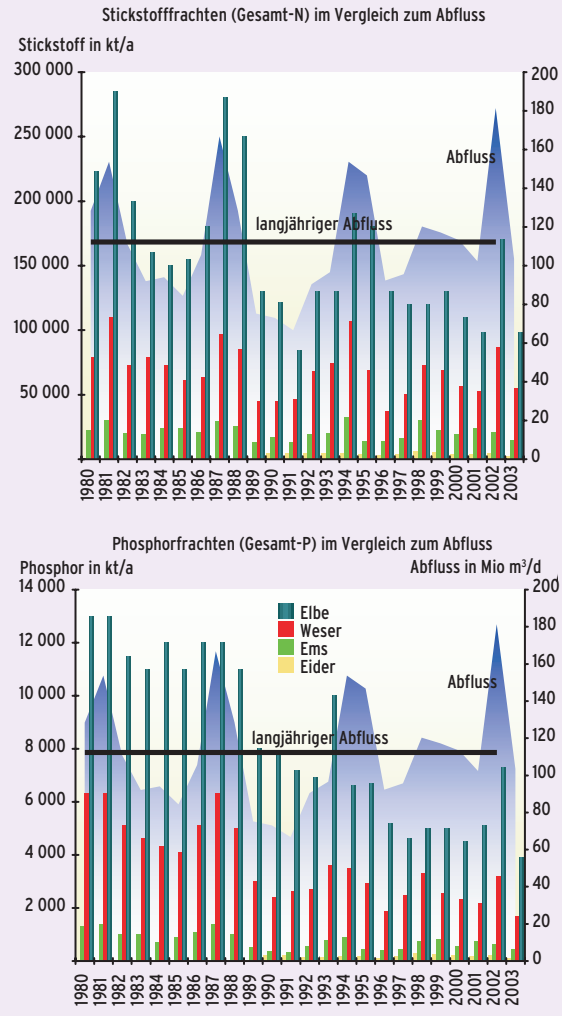
Quelle: *Umweltbundesamt 2004 c*

Flusseinträge und direkte Einträge über die deutschen Zuflüsse in die Nordsee

Beim Vergleich der Nährstoff- und Schadstoffeinträge über die deutschen Zuflüsse in die Nordsee zwischen 1980 und 2003 wird deutlich, dass die Elbe dabei eine herausragende Rolle – vor allem auch auf Grund ihrer Einzugsgebietsgröße – einnimmt.

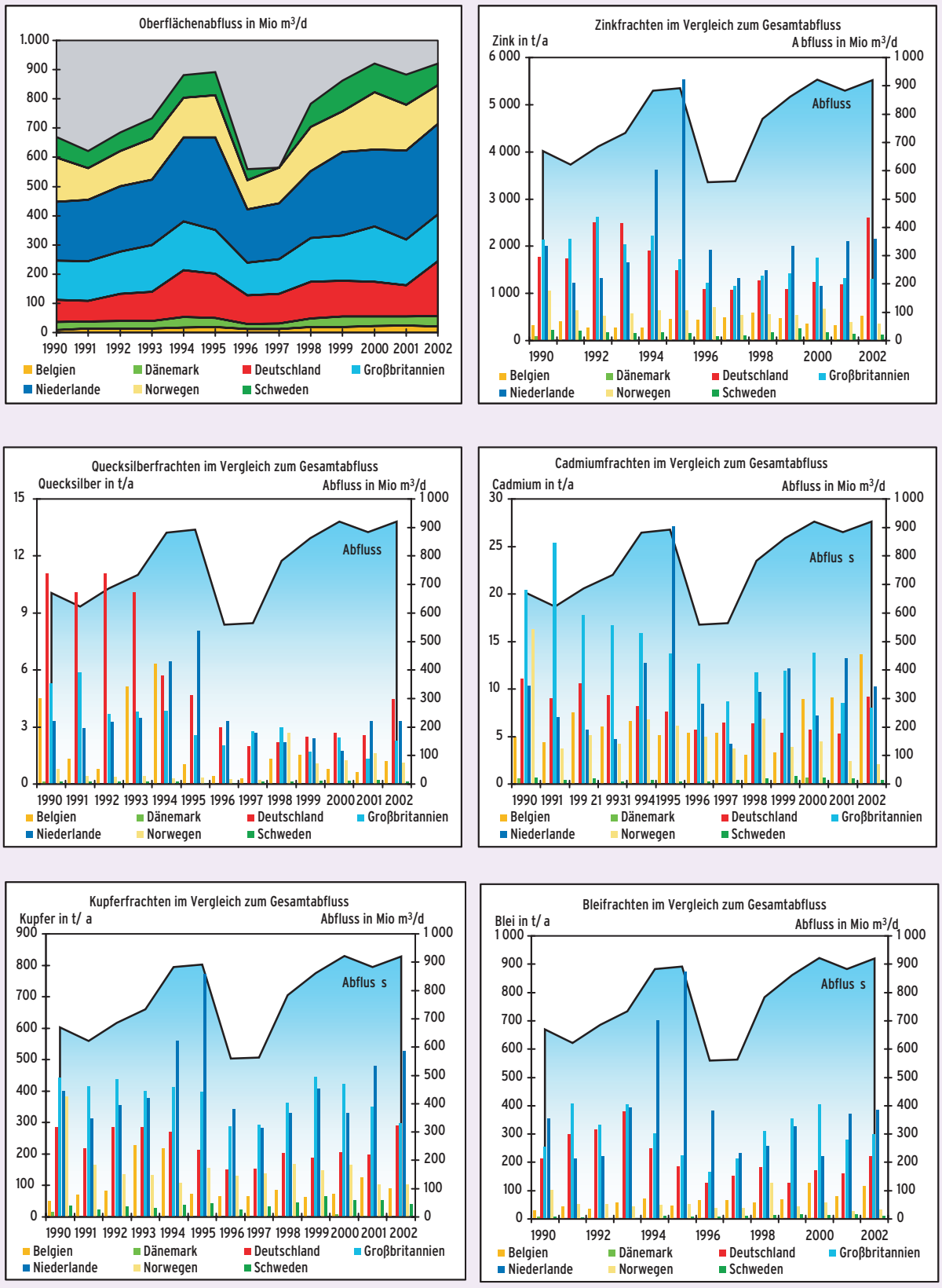
Obwohl die Messungen in den Flussgebieten von Elbe, Weser und Ems schon seit 1980 erfolgen, sind Aussagen zum Trend problematisch, da die Messmethoden über den gesamten Beobachtungszeitraum nicht immer einheitlich waren und in den Flussgebieten von Elbe und Weser auch ein Messstellenwechsel erfolgte. Außerdem müssen beim Vergleich der Nähr- und Schadstoffeinträge über die deutschen Nordseezuflüsse die von Jahr zu Jahr unterschiedlichen Abflussraten berücksichtigt werden. So war der Abfluss in den Nassjahren 1994/1995 und im Jahr der Elbeflut (2002) fast doppelt so hoch

Abb. VI 3.1.3-3: *Nährstoffeinträge über deutsche Zuflüsse in die Nordsee (Elbe, Weser, Ems, Eider)*



Quelle: *Umweltbundesamt 2004 c*

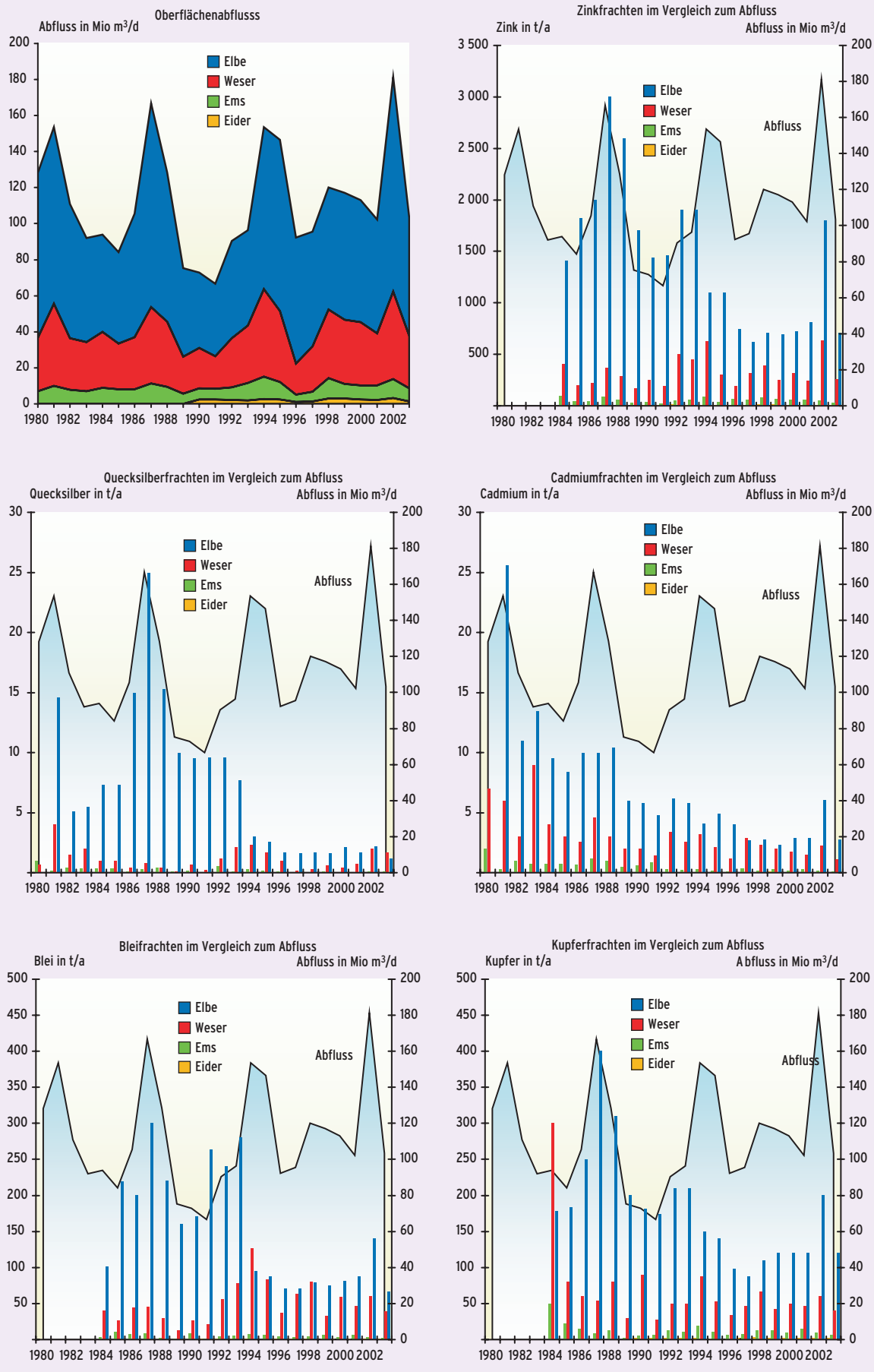
Abb. VI 3.1.3-2: *Schwermetalleinträge der Anrainerstaaten in die Nordsee (Region II)*



Quelle: *Umweltbundesamt 2004 c*

wie in den Trockenjahren 1990/1991. Vor allem Phosphor und Stickstoff aber auch die Schwermetalle zeigen ein ausgeprägtes, vom Abfluss abhängiges Verhalten (Abb. VI 3.1.3-3 und Abb. VI 3.1.3-4). Da Phosphorverbindungen eine vergleichsweise hohe Bodenbindung haben, führt ein erhöhter Regenwasserabfluss zur Abnahme der Phosphorkonzentration (Verdünnungseffekt). Stickstoffverbindungen haben hingegen eine weitaus geringere Bodenbindung, so dass ein erhöhter Regenwasserab-

Abb. VI 3.1.3-4: *Schwermetalleinträge über die deutschen Zuflüsse in die Nordsee*



Quelle: *Umweltbundesamt 2004 c*

fluss auch eine erhöhte Auswaschung und Abschwemmung von landwirtschaftlichen Flächen und somit einen erhöhten Stickstoffeintrag über die Flüsse zur Folge hat. Während abflussbereinigt beim Stickstoff kaum ein Rückgang der Frachten zwischen 1980 und 2003 erkennbar ist, wird beim Phosphor deutlich, dass sich ab 1990 die Phosphorfrachten auf einem niedrigeren Niveau als in den Jahren zuvor eingependelt haben. Dies belegt den Erfolg der Maßnahmen zur Verringerung der Phosphoreinleitungen aus kommunalen und industriellen Abwassereinleitungen sowie aus diffusen Quellen zur Verbesserung der Wasserqualität der deutschen Nordseezuflüsse und somit auch der Nordsee.

Trotz der Beeinflussung durch die Abflussraten wird aus den Ergebnissen der Jahre von 1980 bis 2003 auch deutlich, dass vor allem die Quecksilber- und Cadmiumeinträge über die Elbe, aber auch über die Weser und Ems erheblich zurückgegangen sind. Im Elbe-Einzugsgebiet ist die abflussbereinigte Verringerung von Schadstoffeinträgen ab 1989 in erster Linie auf die Stillegung von Betrieben der chemischen Industrie in den neuen Ländern nach der Wiedervereinigung zurückzuführen. Darüber hinaus zogen Verschärfungen des Wasserhaushaltsgesetzes Maßnahmen im kommunalen und industriellen Bereich nach sich und bewirkten dadurch eine Verringerung der Emissionen in die Oberflächengewässer der Flusseinzugsgebiete insgesamt. In den alten Ländern führte dies durch verbesserte Abwasserreinigungstechniken zu einer überproportionalen Abnahme der Schwermetalleinträge. Verbesserungen im industriellen Bereich sind seit Anfang der 90er Jahre – also seit Inkrafttreten der Abwasserverwaltungsvorschriften in den Industriebranchen – ebenfalls spürbar. Abflussbedingte Spitzenwerte dürften in erster Linie die Mobilisierung von in den Flusssedimenten akkumulierten Altlasten widerspiegeln.

VI 3.1.4 Schadstoffeintrag aus der Atmosphäre in die Nordsee

Anfangs wurden die atmosphärischen Einträge in die Konventionsgewässer von OSPAR anhand der Messdaten des Gemeinsamen Messprogramms (CAMP) für Luftschadstoffe bestimmt. Nunmehr werden speziell modifizierte EMEP-Modellrechnungen für die Schadstoffeintragsabschätzung u. a. in die Nordsee benutzt. Die Daten sind für die Stickstoff- und Schwermetalleinträge aus Modellrechnungen und für ausgewählte persistente organische Verbindungen (POP) aus Messdaten in den folgenden Tabellen zusammengefasst.

Die Einträge der Schwermetalle Blei und Cadmium nahmen seit 1990 weiter stetig ab (mehr als 60 %). Für Quecksilber wurde zu Beginn der 90er Jahre ebenfalls eine Abnahme bis zu 60 % beobachtet. Jedoch haben sich seit 1996 die Einträge auf das alte Niveau wieder eingepegelt (Tab. VI 3.1.4-1).

Die Stickstoffeinträge zeigen über die letzten 10 Jahre keine signifikante Veränderung (Tab. VI 3.1.4-2).

Die POP werden vorrangig über den Luftpfad in die Meere eingetragen. Wegen ihrer Toxizität und Neigung zur Bioakkumulation werden sie daher zunehmend innerhalb neuer Überwachungsprogramme kontrolliert. Die Messdaten dienen gleichzeitig der Validierung der Modelle zur Berechnung der POP-Einträge.

Die POP-Einträge weisen keine deutlichen Trends auf. Eine deutliche Abnahme ist seit 1997 nur für γ-HCH um 60 % erkennbar. Die Messwerte für BaP steigen seit Beginn der Messungen um 36 % an und nehmen seit 1998 wieder stetig ab (65 %). Für Aldrin und HCB kann keine Aussage getroffen werden, da die Werte der Nachweisgrenze gemessen wurden. Das starke Schwanken der POP-Messdaten ist wahrscheinlich neben den ausgeprägten meteorologischen Schwankungen auch auf den 1998 voll-

Tab. VI 3.1.4-1: *Eintrag luftgetragener Schadstoffe in die Nordsee in t/a (525 000 km²)*

	Blei	Cadmium	Quecksilber
1990	946	34	5
1991	1 353	29	6
1992	963	23	6
1993	1 141	33	3
1994	848	22	3
1995	670	22	4
1996	574	16	7
1997	332	6	8
1998	255	5	7
1999	340	12	7

Quelle: *OSPAR-Kommission; EMEP 2001*

Tab. VI 3.1.4-2: *Gesamtstickstoffeinträge in die Nordsee in kt/a, basierend auf EMEP-Schätzungen*

	NO_x	NHy	N-total
1990	278	148	425
1991	294	160	454
1992	290	166	456
1993	268	159	427
1994	294	177	471
1995	245	148	393
1996	362	226	588
1997	351	195	54
1998	314	202	516
1999*)	–	–	–
2000	381	218	599

*) liegt noch nicht vor

Quelle: *EMEP 2000*

zogenen Wechsel des Analysenlabors zurückzuführen (Tab. VI 3.1.4-3).

Tab. VI 3.1.4-3: *Jahresdepositionen ausgewählter POP für die Station Westerland in µg/m²*

	α-HCH	γ-HCH	HCB	Aldrin	Heptachlor	BaP
1996	0,297	3,511	0,036	0,006	0,006	1,389
1997	0,289	5,425	0,049	0,008	0,008	1,177
1998	0,423	4,467	0,095	0,073	0,131	3,870
1999	0,280	3,509	0,010	0,008	0,003	0,809
2000	0,357	3,033	0,126	0,000	0,000	1,425
2001	0,335	1,712	0,100	0,009	0,003	0,840

Quelle: *Umweltbundesamt 2002 a*

VI 3.1.5 Schadstoffbelastung im Meerwasser der Nordsee

Im Bund/Länder-Messprogramm Nordsee werden eine Reihe gefährlicher Stoffe für das Joint Assessment and Monitoring Programm (JAMP) von OSPAR regelmäßig überwacht: Cadmium (Cd), Blei (Pb), Quecksilber (Hg), Hexachlorbenzol (HCB), α-, β-, γ-, δ-Hexachlorcyclohexan (HCH), polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und polychlorierte Biphenyle (PCB). Bei der Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie werden zukünftig 33 gefährliche Stoffe regelmäßig im Wasser (Gesamtprobe aus gelösten und Schwebstoff-gebundenen Stoffen) untersucht. Für etliche dieser Stoffe liegen bereits Daten in der Meeresumweltdatenbank vor (Abb. VI 3.1.5-1). Da es bisher noch keine standardisierte Darstellung nach der Wasserrahmenrichtlinie gibt, werden hier sämtliche Messwerte im Küstenwasser (innerhalb der 12 sm-Zone ohne Helgoland) dargestellt sowie der jährliche Mittelwert und mit den vorläufigen, von der Europäischen Kommission vorgeschlagenen Umweltqualitätsnormen (Jahresmittel der Umweltqualitätsnorm (AA-EQS) sowie maximal erlaubten Konzentrationen (MAC-EQS)) verglichen.

Schwermetalle im Meerwasser

Im Bereich der Deutschen Bucht ist das Wasser der Flussmündungsbereiche von Ems, Weser und Elbe deutlich höher mit Cadmium (Cd), Blei (Pb), Quecksilber (Hg), Kupfer (Cu) und Zink (Zn) belastet als die Wassermassen der Deutschen Bucht (Abb. VI 3.1.5-2 und Abb. VI 3.1.5-3).

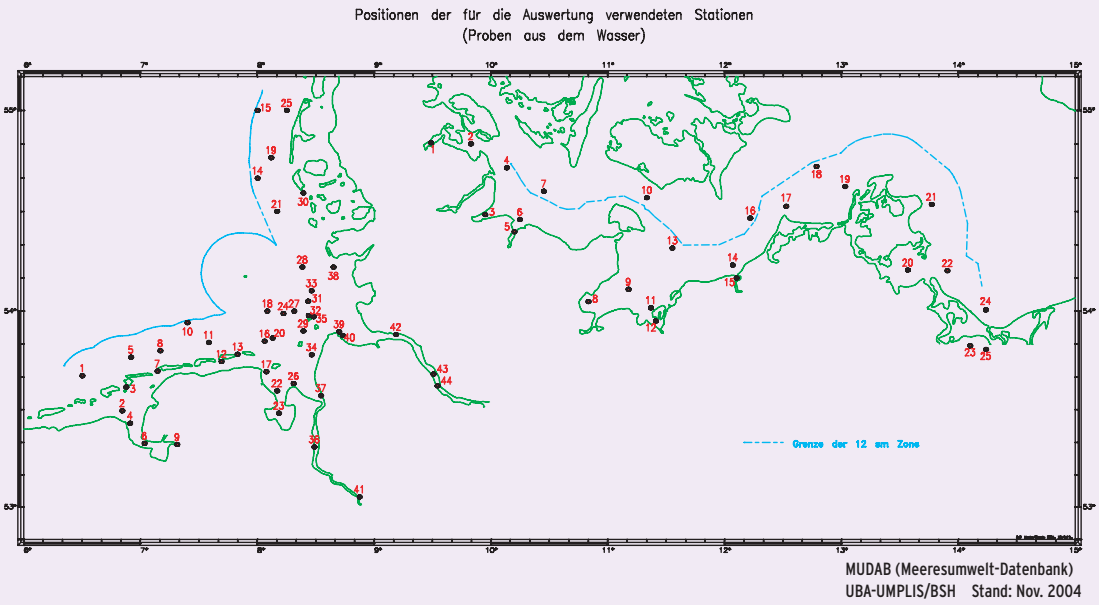
Schwermetalle sind in hohem Maße an Schwebstoffe gebunden. Einige Elemente wie z.B. Cd, Pb, Zn und Cu werden vom Phytoplankton aufgenommen und bei Sedimentation des Planktons aus dem Wasser entfernt.

Zeitliche Trends der Schwermetalle unter den 33 prioritären Stoffen der Wasserrahmenrichtlinie zeigen für das Küstenwasser innerhalb der 12 Seemeilenzone für Quecksilber, Cadmium, Blei und Nickel eine leichte Abnahme der mittleren Konzentrationen, wobei Blei, Nickel und Cadmium über bzw. im Bereich der vorgeschlagenen Umweltqualitätsnormen (AA-EQS) liegen und Quecksilber darunter (Abb. VI 3.1.5-4).

Organische Schadstoffe im Meerwasser

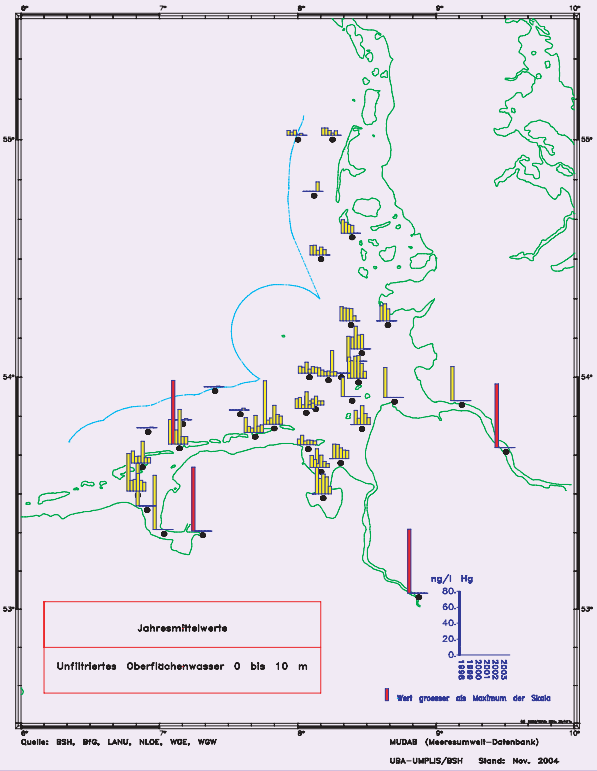
Für die 33 prioritären Stoffe der Wasserrahmenrichtlinie liegen noch nicht für alle Stoffe ausreichend Messungen im Küstenwasser vor, da das

Abb. VI 3.1.5-1: *Stationskarte Wassermengen in Nord- und Ostsee*



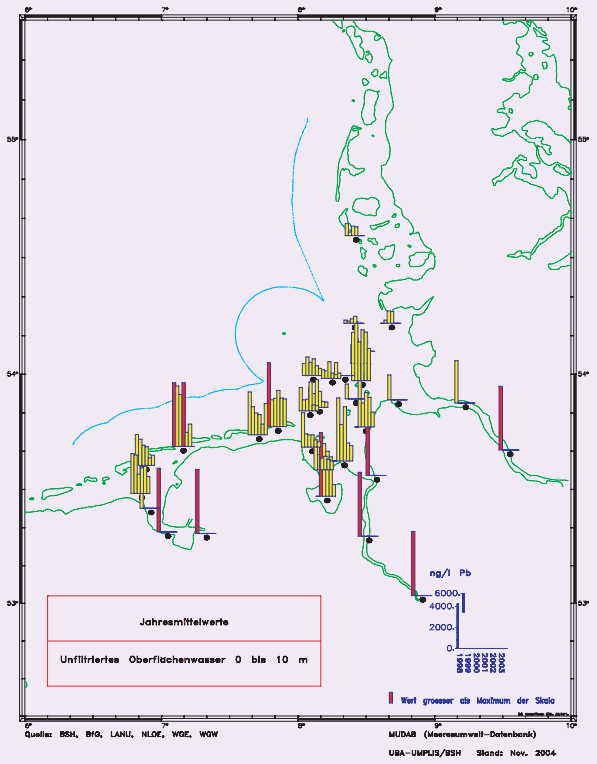
Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

Abb. VI 3.1.5-2: *Quecksilberkonzentration im Wasser der Nordsee (1998–2003)*



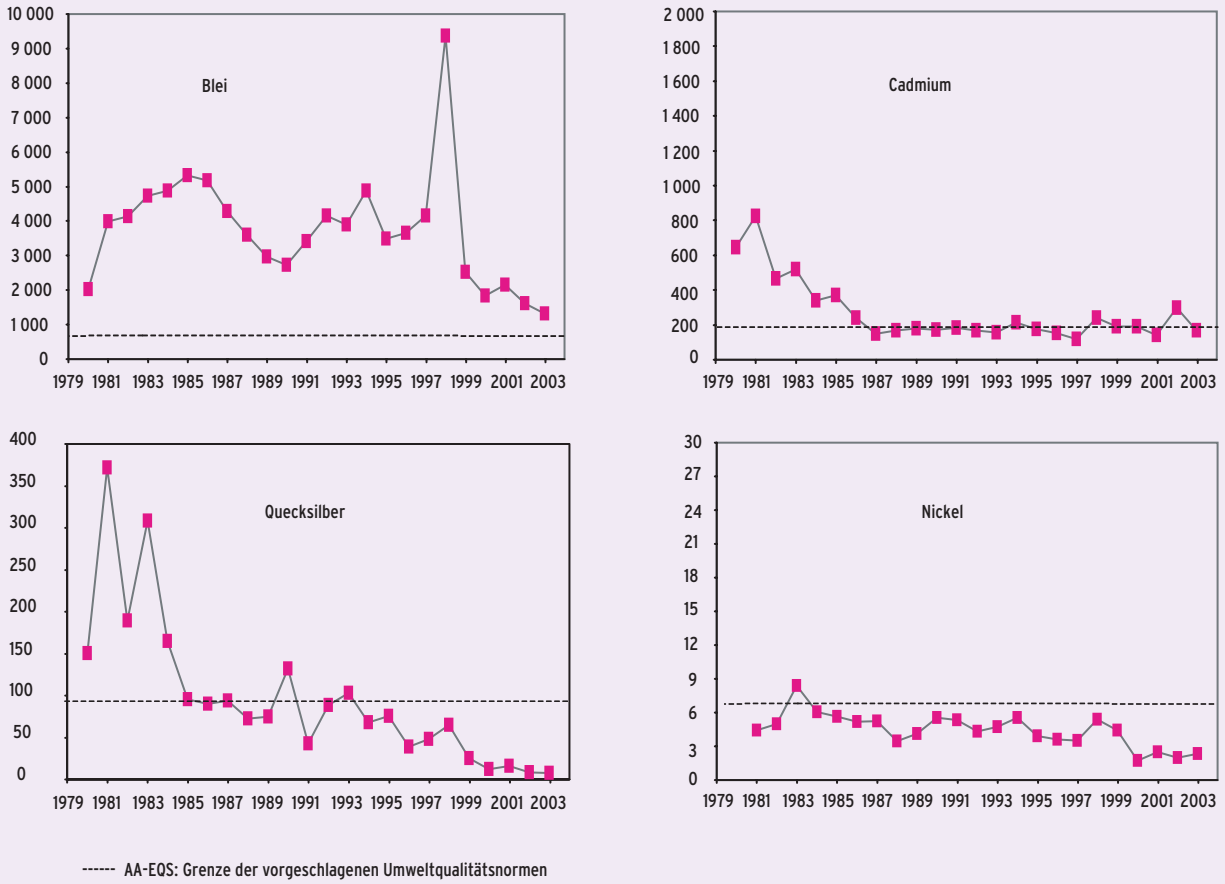
Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

Abb. VI 3.1.5-3: *Bleikonzentration im Wasser der Nordsee (1998–2003)*



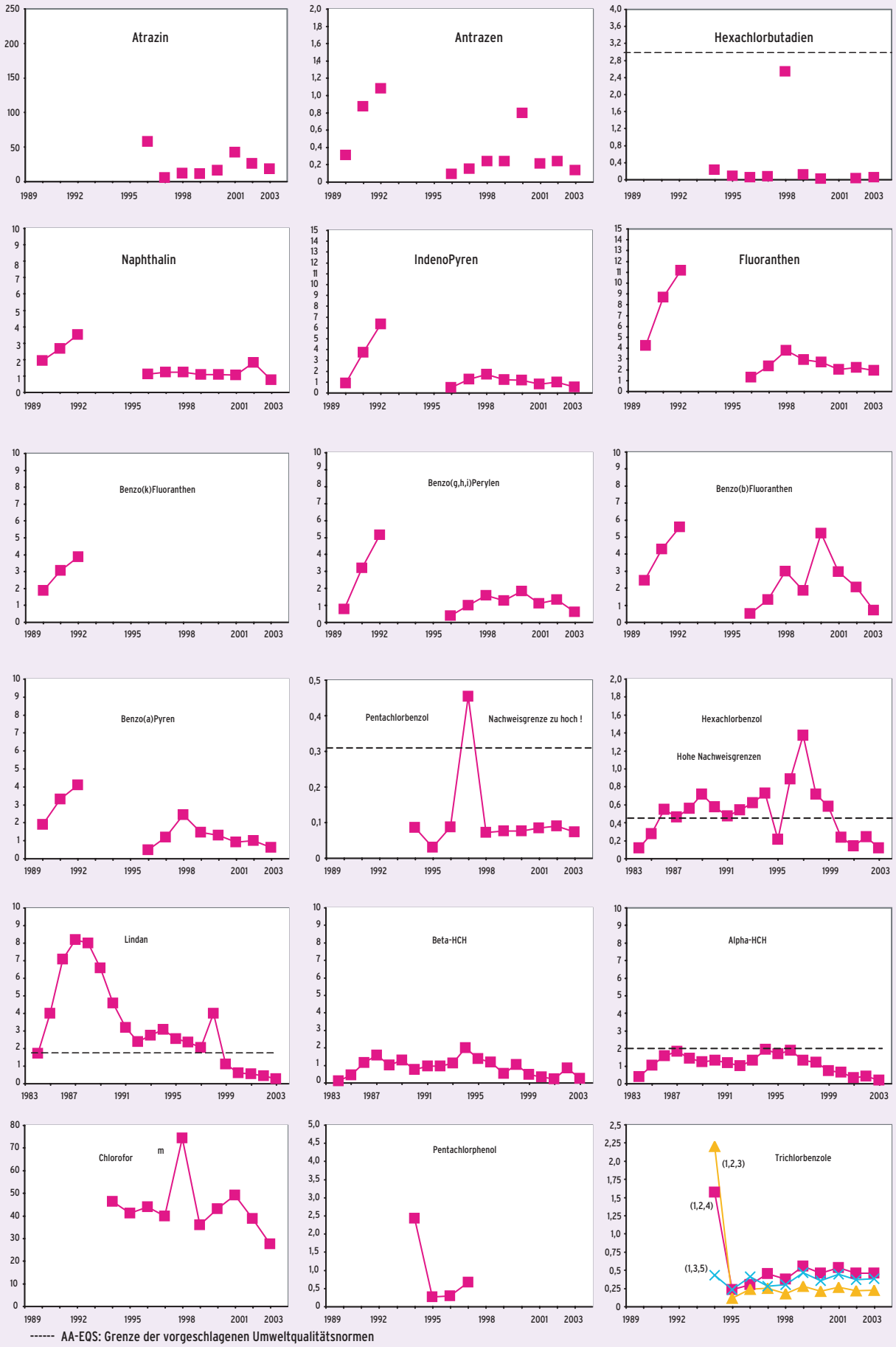
Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

Abb. VI 3.1.5-4: *Jahresmittelwerte ng/l von Schwermetallen in unfiltriertem Wasser (0–10 m) der Nordsee (12 sm ohne Helgoland)*



Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

Abb. VI 3.1.5-5: *Zeitreihe der Jahresmittelwerte (mg/l) von organischen Schadstoffen in unfiltriertem Wasser (0–10 m) der Nordsee (12 sm ohne Helgoland)*



Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

Messprogramm erst 2006 verpflichtend ist. Folgende Stoffe werden im Küstenwasser der Nordsee in Konzentrationen kleiner als die vorgeschlagene Umweltqualitätsnorm der Wasserrahmenrichtlinie gemessen: Atrazin, Antrazen, Hexachlorbutadien, Naphthalin, IndenoPyren, Fluoranthen, Benzo(k)Fluoranthen, Benzo(g,h,i)Perylen, Benzo(b)Fluoranthen, Benzo(a)Pyren, Pentachlorbenzol. Weitere Stoffe werden nur im Bereich der Nachweisgrenze gemessen und liegen daher ebenfalls unter den vorgeschlagenen Umweltqualitätsnormen: Chloroform, Pentachlorphenol, Trichlorbenzole, Dichlorethan 1,2 und Benzol. Für vier Stoffe werden jedoch mittlere Konzentrationen im Bereich der vorgeschlagenen Umweltqualitätsnormen vorgefunden: Hexachlorbenzol, Lindan, Beta-HCH und Alpha-HCH, wobei die mittleren Konzentrationen in den letzten Jahren unter die AA-EQS gesunken sind (Abb. VI 3.1.5-5).

Trotz nachlassender Anwendung wird Lindan (γ-HCH) immer noch weiträumig nachgewiesen. α-HCH und β-HCH werden in wesentlich niedrigeren Konzentrationen gefunden. Die Tendenz ist nach der maximalen Konzentration in den 80er Jahren (Lindan war beim Delfinsterben 1987/88 eines der am häufigsten analysierten Pflanzenschutzmittel) generell rückläufig. Ein Belastungsschwerpunkt für alle HCH-Verbindungen liegt vor der Elbe/Wesermündung. Der Grund hierfür ist unbekannt.

Die Hexachlorbenzol (HCB)-Konzentrationen liegen in der Regel unterhalb der Nachweisgrenze von 1,0 ng/l, wobei die vorgeschlagene Umweltqualitätsnorm mit 0,4 ng/l jedoch eine geringere Nachweisgrenze erfordert. Ein Belastungsschwerpunkt liegt ebenfalls vor der Elbe/Wesermündung (Abb. VI 3.1.5-6).

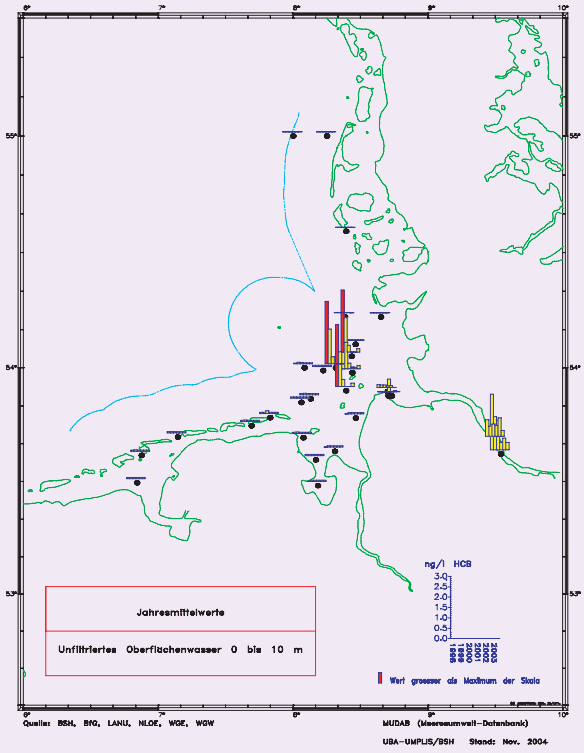
Die räumliche Verteilung der wichtigsten Triazin- und Phenylharnstoffpestizide zeigt für alle Verbindungen einen deutlichen von der Küste in die offene See abnehmenden Gradienten. Neben der Elbe sind die Schelde und der Rhein deutliche Quellen. Die erhöhten Triazin- und Phenylharnstoffkonzentrationen an der norwegischen Küste sind zum großen Teil auf den Wasserausstrom aus der Ostsee zurückzuführen (Abb. VI 3.1.5-7).

VI 3.1.6 Schadstoffbelastung im Sediment der Nordsee

Schwermetalle im Sediment

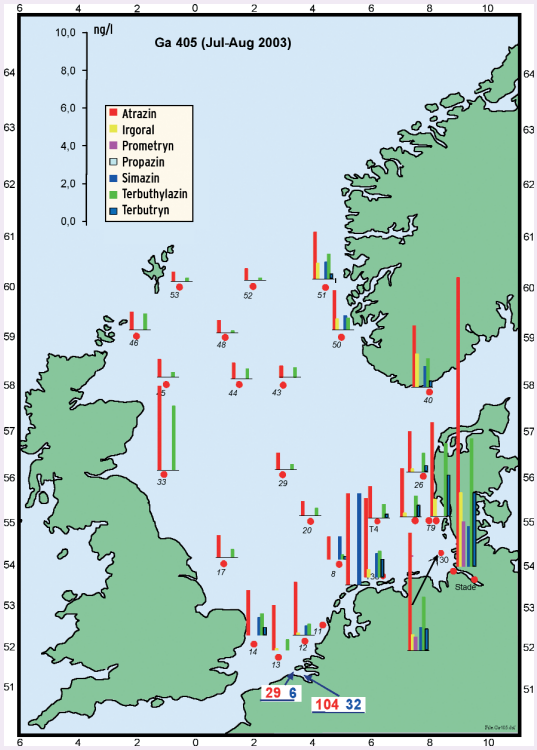
Die Schwermetallgehalte (Cd, Hg, Pb) in den Sedimenten der südöstlichen Nordsee einschließlich der Deutschen Bucht zeigen ein ausgeprägtes räumliches Verteilungsmuster. Die Deutsche Bucht ist nach wie vor eindeutiger Belastungsschwerpunkt für Quecksilber (Abb. VI 3.1.6-1). Hohe Blei-Gehalte

Abb. VI 3.1.5-6: *Hexachlorbenzolkonzentration im Wasser der Nordsee (1998–2003)*



Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

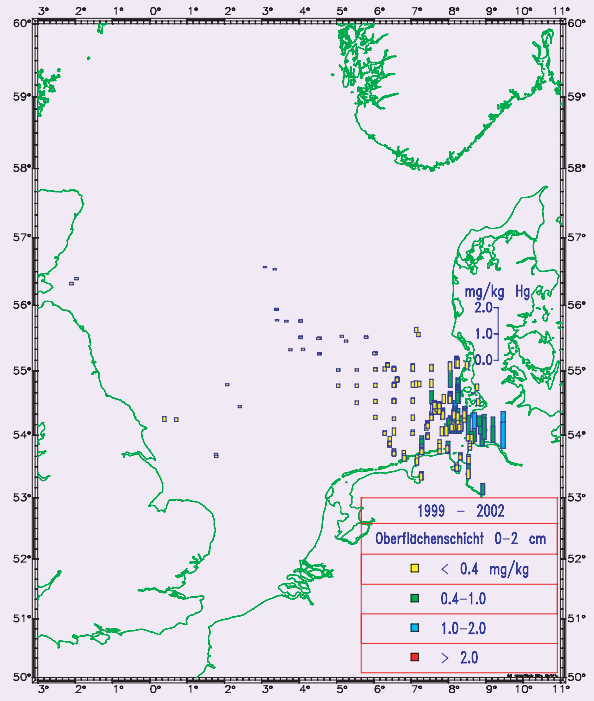
Abb. VI 3.1.5-7: Verteilung von Triazinen im Wasser der Nordsee



Quelle: *Theobald, N. und Gerwinski, W., Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie 2004*

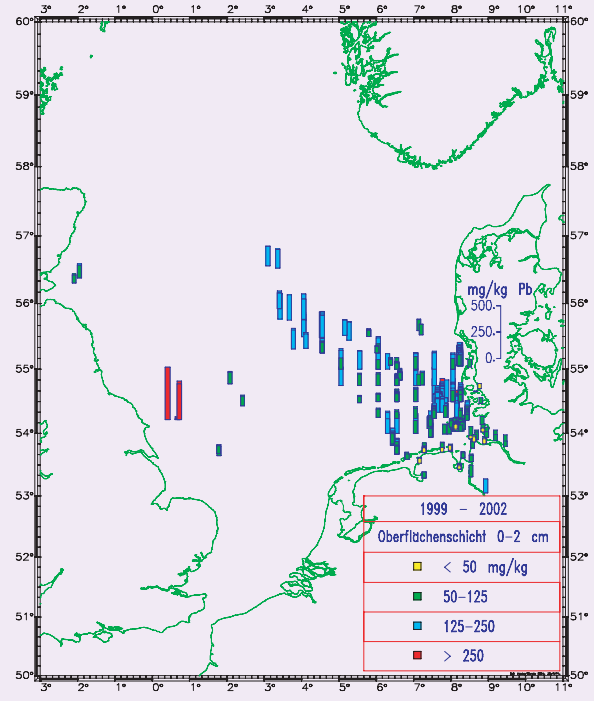
(Abb. VI 3.1.6-2) finden sich in der gesamten Nordsee, während Cd und Hg-Gehalte küstenfern nur

Abb. VI 3.1.6-1: *Quecksilberkonzentration in der Feinkornfraktion (< 20 µm) der Nordseesedimente*



Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

Abb. VI 3.1.6-2: *Bleikonzentration in der Feinkornfraktion (< 20 µm) der Nordseesedimente*



Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

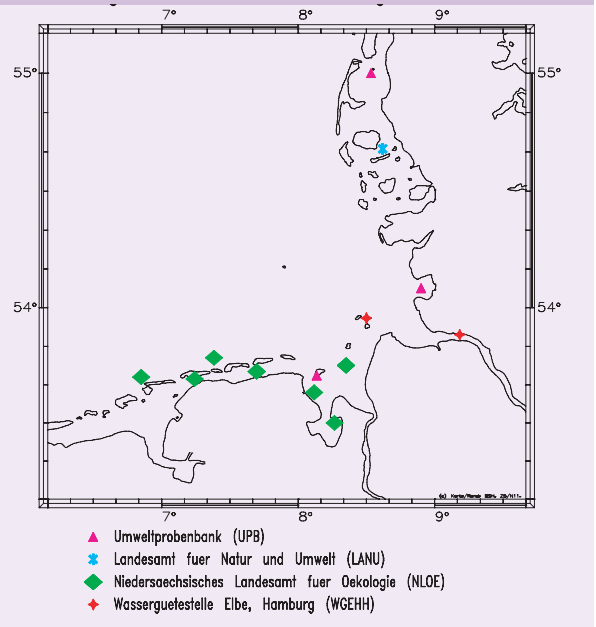
leicht erhöht auftreten und teilweise den natürlichen Hintergrundwerten (Hg:0,2 mg/kg, Cd: 0,3 mg/kg, Pb: 25 mg/kg in der 20 m-Sedimentfraktion) entsprechen.

Für die in den vergangenen Jahren z. T. erhebliche Belastung der Deutschen Bucht mit Quecksilber, die vorwiegend auf Einträge aus der Elbe zurückzuführen ist, zeichnet sich eine leichte Besserung ab, da sich die Quecksilberfracht der Elbe seit der Wiedervereinigung durch Schließung von Betrieben und verbesserte Umweltschutzmaßnahmen stark verringert hat. Die weiträumige Belastung der Nordseesedimente mit Blei ist vermutlich auf einen vergleichsweise hohen atmosphärischen Eintrag vor der Einführung des bleifreien Benzins zurückzuführen.

VI 3.1.7 Schadstoffbelastung der Organismen in der Nordsee

Im Bund/Länder-Messprogramm für die Meeresumwelt von Nord- und Ostsee (BLMP) werden Schadstoffe in Miesmuscheln, Fischen und Seevogeleiern untersucht (Abb. VI 3.1.7-1). Die Umweltprobenbank des Bundes untersucht hierbei seit 1985 an der Nordseeküste Schadstoffkonzentrationen in marinen Organismen im Nationalpark Wattenmeer in den Gebietsausschnitten Sylt-Römö-Watt, Meldorfer Bucht (Schleswig-Holstein) und im Jadebusen (Niedersachsen). Nach der Konzeption der Umweltprobenbank werden Blasentang (Fucus vesiculosus), Miesmuschel (Mytilus edulis), Muskulatur und Leber der Aalmutter (Zoarces viviparus) und Eier von Silbermöwen (Larus argentatus) gesammelt, biometrisch charakterisiert, aufgearbeitet und unter tiefkalten Bedingungen gelagert. Regelmäßig werden die Konzentrationen von Spurenmetallen (Cd, Pb, As, Cu, Se, Hg und teilweise Methylquecksilber), po-

Abb. VI 3.1.7-1: *Stationsnetz Nordsee für gefährliche Stoffe in Organismen*



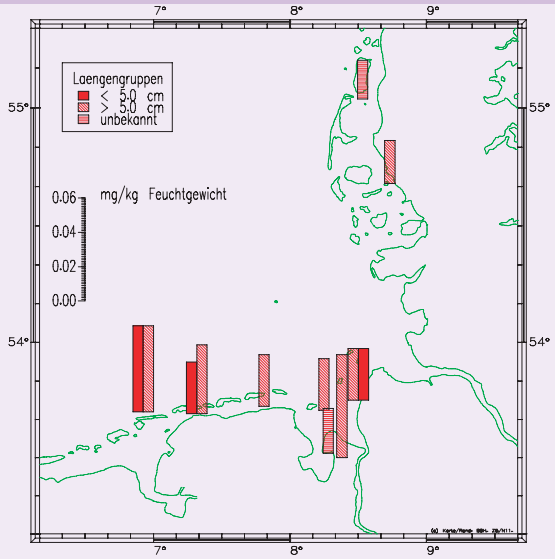
Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

lycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH) und chlorierten Kohlenwasserstoffen (z.B. PCB, DDT, HCH) bestimmt.

Schwermetalle in Organismen

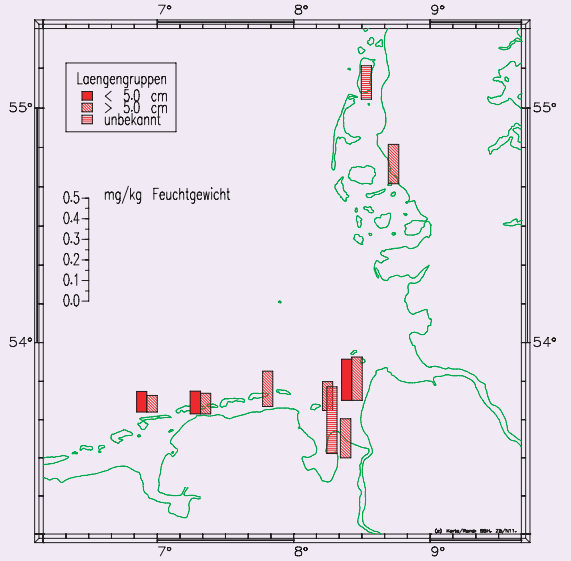
Im räumlichen Vergleich der Miesmuschel-Untersuchungsgebiete im deutschen Nordseegebiet zeigt sich im Jahr 2001 eine etwa gleichförmige Schwermetallbelastung von Miesmuscheln im niedersächsischen und schleswig-holsteinischen Küstengebiet (Abb. VI 3.1.7-2, Abb. VI 3.1.7-3). Die Belastung von Flundern mit Schwermetallen variiert räumlich stärker, wobei durch die Wanderungen der Fische keine genau räumliche Zuordnung möglich ist (Abb. VI 3.1.7-4 und Abb. VI 3.1.7-5).

Abb. VI 3.1.7-2: *Quecksilberkonzentration in Miesmuscheln Nordsee 2001*



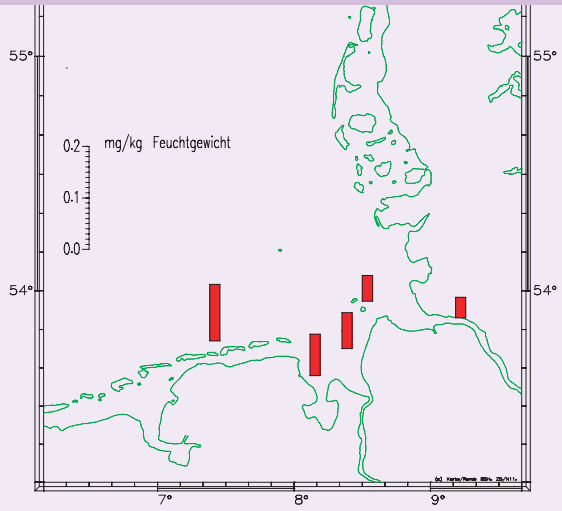
Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

Abb. VI 3.1.7-3: *Bleikonzentration in Miesmuscheln Nordsee 2001*



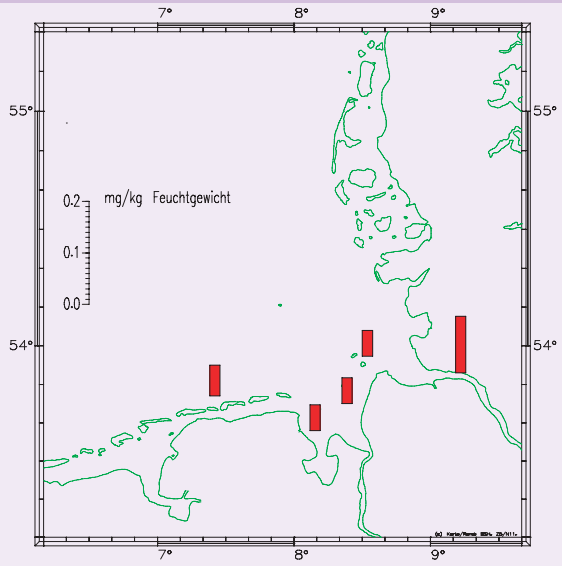
Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

Abb. VI 3.1.7-4: *Quecksilberkonzentration in Flundermuskeln Nordsee 2001*



Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

Abb. VI 3.1.7-5: *Bleikonzentration in Flunderlebern Nordsee 2001*

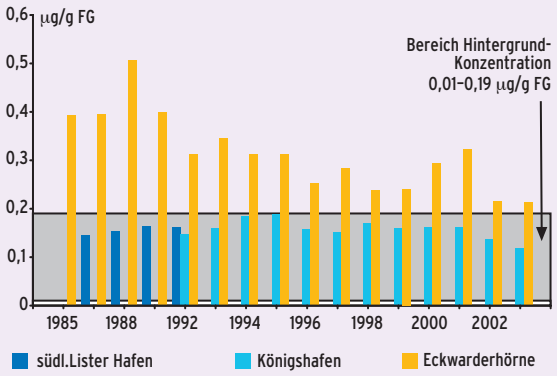


Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

Im zeitlichen Vergleich erwiesen sich die aus dem Jadebusen (bei Eckwarderhörne) entnommenen Miesmuscheln für den Zeitraum 1985 bis 1993 als deutlich stärker mit Pb, Cd und Hg belastet als die Muscheln aus dem Sylt-Römö-Watt (List/Königshafen). In den nachfolgenden Jahren (1994 bis 2003) verminderten sich diese Unterschiede, da die Belastung der Muscheln aus dem Jadebusen tendenziell abnahm, während die Belastung der Muscheln aus

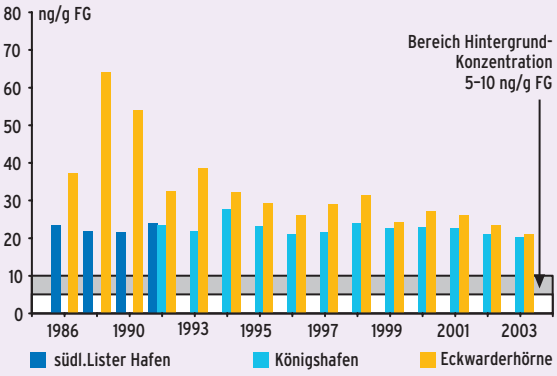
dem Sylt-Römö-Watt in etwa gleich blieb oder leicht anstieg (Abb. VI 3.1.7-6, Abb. VI 3.1.7-7).

Abb. VI 3.1.7-6: *Blei in Miesmuscheln*



Quelle: *Umweltbundesamt 2004 d*

Abb. VI 3.1.7-7: *Quecksilber in Miesmuscheln*



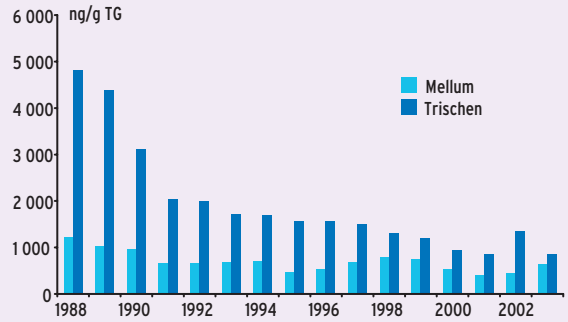
Quelle: *Umweltbundesamt 2004 d*

Zur Bewertung werden die von OSPAR [1] für den gesamten Nordost-Atlantik (einschließlich der Nordsee) ermittelten Konzentrationsbereiche für den natürlichen Hintergrund für Metalle in Miesmuscheln herangezogen. Sie betragen für Cd 0,07–0,11 µg/g, für Pb 0,01–0,19 µg/g und für Hg 5–10 ng/g, jeweils bezogen auf das Frischgewicht (FG). Im Falle von Cadmium zeigen die in Muscheln nachgewiesenen Konzentrationen eine abnehmende Tendenz; derzeit liegen noch die Konzentrationen von Miesmuscheln aus Eckwarderhörne oberhalb des Hintergrundbereichs. Im Falle von Blei liegen nur die Konzentrationen der Miesmuscheln von Eckwarderhörne oberhalb des Hintergrundbereiches. Quecksilbergehalte in Miesmuscheln der beiden Nordseeprobenahmestellen haben sich zwar seit Ende der 80er Jahre vermindert, liegen aber immer noch deutlich oberhalb der Hintergrundkonzentrationen. Für Plattfische wie die Flunder gibt OSPAR nur einen Hintergrundwert für Hg im Fischfleisch von 0,03–0,07 mg/kg Frischgewicht (FG) an. Die gemessenen Konzentrationen in Flundern sind gegenüber diesem Hintergrundwert ebenfalls erhöht.

Für die Bewertung der Schadstoffkonzentrationen im Hinblick auf das Schutzgut „menschliche Gesundheit“ sind die von der Kommission der Europäischen Gemeinschaft festgelegten Höchstgehalte in Lebensmitteln für Hg (0,5 µg/g FG Muscheln und Fischfleisch), Pb (1,5 µg/g FG Muscheln und 0,2 µg/g FG Fischfleisch) und Cd (1,0 µg/g FG Muscheln und 0,05 µg/g FG Fischfleisch) maßgeblich. Die im Bereich der deutschen Nordseeküste nachgewiesenen Konzentrationen an Pb, Cd und Hg in Miesmuscheln und Hg in Flundern lagen deutlich unterhalb dieser Höchstgehalte. Für Cd und Pb in Flunderlebern ist ein direkter Vergleich nicht möglich, da sich Schadstoffe in Lebern stark anreichern und höher konzentriert sind als im Fleisch.

Die Quecksilberbelastung von Seevogeleiern spiegelt in der Regel die lokale Schadstoffkontamination wider, da das Quecksilber während der Eibildung über die Nahrung aus der näheren Umgebung des Brutgebiets von den weiblichen Tieren aufgenommen wird. Die in Silbermöweneiern von der Insel Trischen (Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer) um den Faktor 2 bis 3 höheren Quecksilbergehalte im Vergleich zu Eiern von der Insel Mellum (niedersächsisches Wattenmeer) zeigen den hohen Eintrag durch die Elbe im Vergleich zum Eintrag durch Jade und Weser auf. Anhand der Zeitreihen für Hg-Konzentrationen in Silbermöweneiern kann zwischen 1988 und 1995 ein deutlicher Rückgang der Belastung festgestellt werden. Während sich dieser Trend in Proben von Trischen mit Ausnahme des Jahres 2002 recht kontinuierlich fortsetzt, wurde in den Eiern von Mellum Ende der 90er Jahre und in 2003 ein zwischenzeitlicher Anstieg der Quecksilbergehalte beobachtet (Abb. VI 3.1.7-8).

Abb. VI 3.1.7-8: *Quecksilber in Silbermöweneiern*



Quelle: *Umweltbundesamt 2004 d*

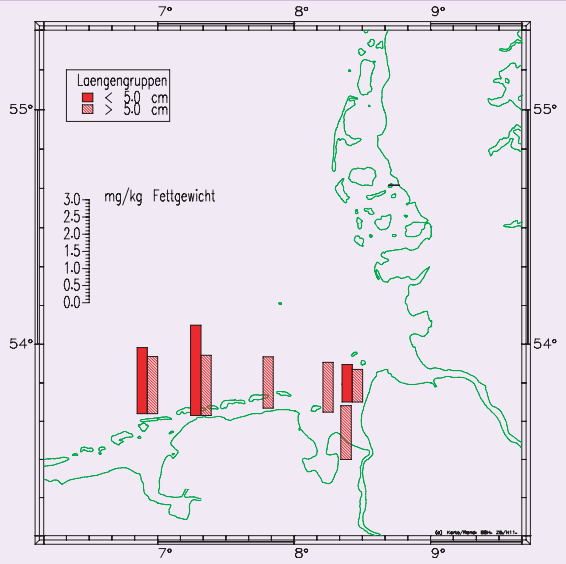
Organische Schadstoffe in Organismen

Im Unterschied zu den meisten anorganischen Verbindungen werden chlorierte Kohlenwasserstoffe im Fettgewebe von Organismen akkumuliert. Vom

Bund-Länder Messprogramm Nord- und Ostsee gibt es Daten zur räumlichen Verteilung von Lindan und PCB 138 in Miesmuscheln, sowie Lindan, PCB 138, HCB in Flundern (Abb. VI 3.1.7-9, Abb. VI 3.1.7-10, Abb. VI 3.1.7-11, Abb. VI 3.1.7-12). Während PCB 138 relativ gleichmäßig in den Flundern der deutschen Nordseeküste verteilt ist, zeigt sich bei den Miesmuscheln in der Wesermündung ein relativ frischer Belastungsschwerpunkt, da gerade die kleinen Muscheln höhere Konzentrationen aufweisen. Die Lindangehalte erscheinen sowohl bei den Flundern als auch bei den Miesmuscheln vor der niedersächsichen Küste erhöht, was möglicherweise auf landwirtschaftliche Einträge zurückgeführt werden kann. Lindan darf zwar als Pflanzenschutzmittel seit Juni 2002 in der EU nicht mehr eingesetzt werden, wird aber als PBT-Stoff nur sehr langsam abgebaut und wird daher noch einige Jahre in Fischen gefunden werden. Die HCB-Gehalte in Flundern schwanken stark regional.

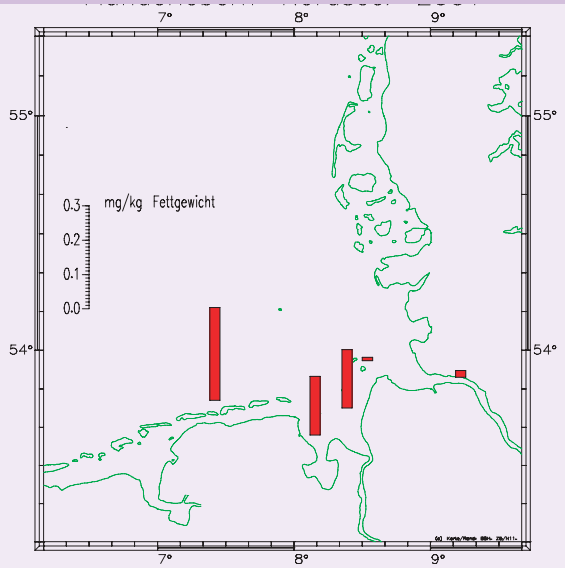
Von der Umweltprobenbank des Bundes liegen Untersuchungsergebnisse zur räumlichen und zeitlichen Verteilung von organischen Schadstoffen in Miesmuschel, Aalmutter und Silbermöwenei vor. Sowohl im Nordsee- als auch im Ostseeküstenbereich

Abb. VI 3.1.7-9: *Lindankonzentration in Miesmuscheln Nordsee 2001*



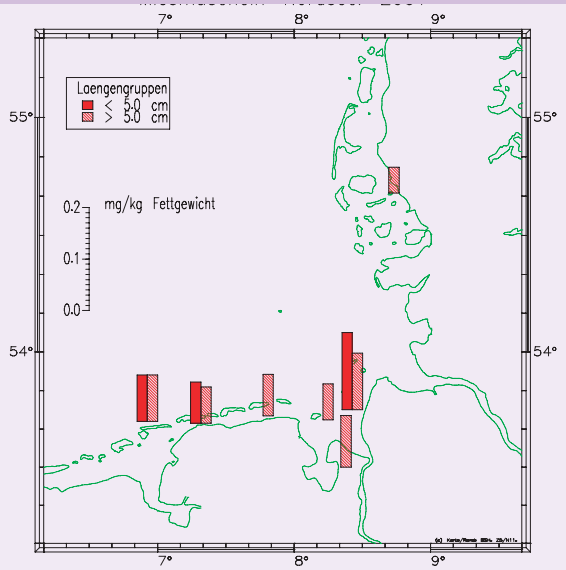
Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

Abb. VI 3.1.7-11: *Lindankonzentration in Flunderlebern Nordsee 2001*



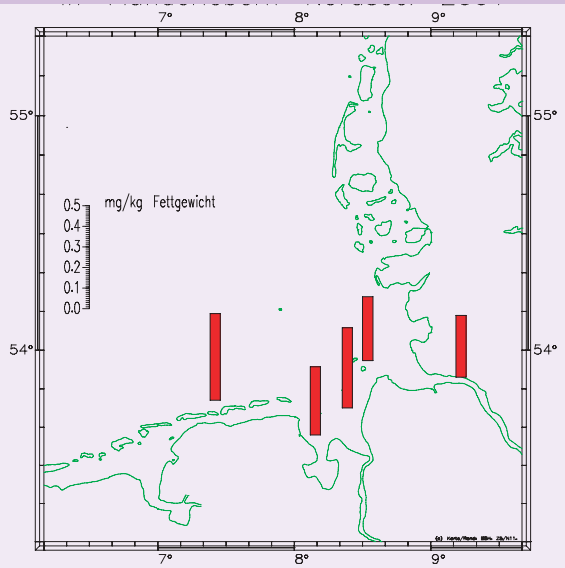
Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

Abb. VI 3.1.7-10: *PCB 138 Konzentration in Miesmuscheln Nordsee 2001*



Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

Abb. VI 3.1.7-12: *PCB 138 Konzentration in Flunderlebern Nordsee 2001*

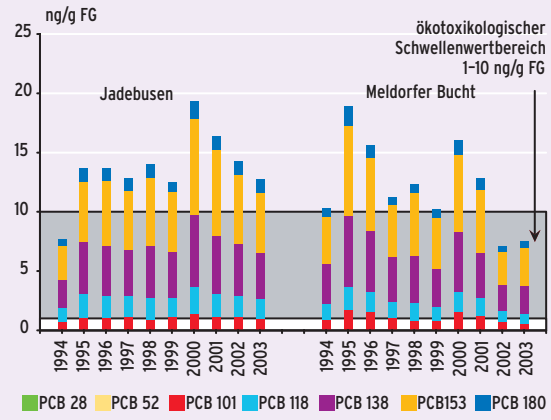


Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

sind polychlorierte Biphenyle (PCB) die Hauptkontaminanten mariner Organismen. Ein Vergleich der Kongenerenmuster von Miesmuschel-, Aalmuttermuskulatur- und Silbermöweneiproben zeigt, dass besonders die hexa- und heptachlorierten Biphenyle (B 138 und B 153) in der Nahrungskette bioakkumulieren, während tetra- und pentachlorierte Biphenyle (B 52 und B 101) einen immer geringeren Anteil am nachzuweisenden Kongenerenspektrum ausmachen.

OSPAR verwendet für die Summe der sieben PCB-Leitkongenere (Σ PCB_7; IUPAC Nr. 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180) ökotoxikologische Schwellenbereiche in Höhe von 1 bis 10 ng/g Frischgewicht für Fisch und 5 bis 50 ng/g Trockengewicht für Miesmuscheln, um potenzielle Problemgebiete erfassen zu können. Die 2003 nachgewiesenen PCB-Gehalte (Σ PCB_7) in Aalmuttermuskulatur aus dem Bereich des Jadebusen lagen mit 12,8 ng/g Frischgewicht oberhalb dieses ökotoxikologischen Schwellenbereiches. Aalmuttermuskulatur aus dem Bereich der Meldorfer Bucht wies 2003 mit 7,5 ng/g Frischgewicht PCB-Gehalte im oberen Schwellenbereich auf. Über den Beobachtungszeitraum 1994 bis 2003 zeigen sich stark schwankende PCB-Gehalte; besonders auffällig ist für beide Probenahmegebiete eine deutlich ansteigende PCB-Belastung von 1999 nach 2000, für die bis jetzt keine Erklärung gefunden werden konnte (Abb. VI 3.1.7-13).

Abb. VI 3.1.7-13: *PCB in Aalmuttermuskulatur*

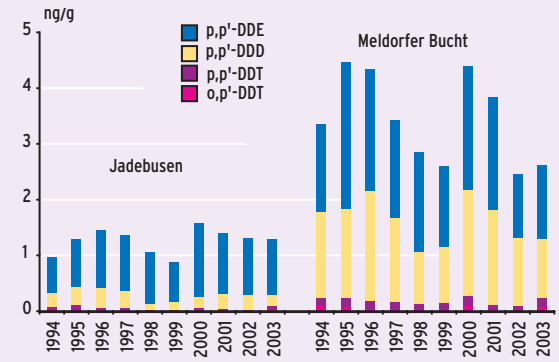


Quelle. *Umweltbundesamt 2004 d*

Obwohl mit dem Elbehochwasser 2002 nachweislich große Mengen chlorierter Kohlenwasserstoffe in die Nordsee eingetragen wurden, können nur vergleichsweise geringe Anstiege der Belastung von Aalmuttern mit diesen Substanzen ein Jahr nach der Flut beobachtet werden.

Im Fall von DDT und seinen Abbauprodukten DDE und DDD wurden in Aalmuttermuskulatur aus der Meldorfer Bucht und dem Jadebusen 2003 im Vergleich zu 2002 leicht erhöhte Gehalte der Elternverbindungen o,p'-DDT und p,p'-DDT gemessen (Abb. VI 3.1.7-14).

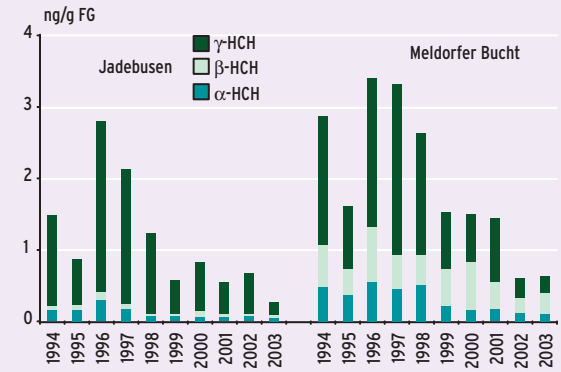
Abb. VI 3.1.7-14: *DDT und Metabolite in Aalmuttermuskulatur*



Quelle. *Umweltbundesamt 2004 d*

Für die hier untersuchten HCH-Isomere (α-, β- und γ-HCH) zeigte sich ein Jahr nach der Flut nur ein geringfügiger Anstieg der β-HCH-Gehalte in Aalmuttermuskulatur aus der Meldorfer Bucht. Ansonsten setzte sich der deutlich abnehmende Trend für α-HCH und für γ-HCH (Lindan) in Aalmuttern von beiden Probenahmegebieten an der deutschen Nordseeküste fort (Abb. VI 3.1.7-15).

Abb. VI 3.1.7-15: *HCH in Aalmuttermuskulatur*

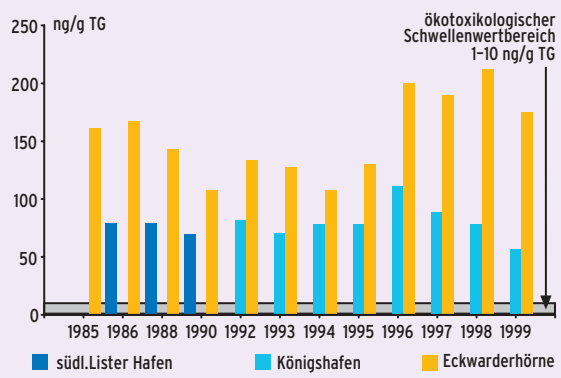


Quelle. *Umweltbundesamt 2004 d*

Schon Anfang der 80er Jahre wurde die weitreichende Schädigung mariner Organismen durch organische Zinnverbindungen offensichtlich, die sich vor allem in der reduzierten oder ausbleibenden Fortpflanzungsfähigkeit von Schnecken und Austern manifestierte.

Im marinen Bereich ging zwischen 1985 bis 1999 die Belastung der Biota mit Triphenylzinnverbindungen sehr deutlich zurück, während die Gewebekonzentrationen von Tributylzinn (TBT) auf hohem Niveau konstant blieben (Abb. VI 3.1.7-16). Die gleich bleibende Belastung mit TBT dürfte ihre Ur-

Abb. VI 3.1.7-16 Tributylzinn in Miesmuscheln



Quelle. *Umweltbundesamt 2004 d*

sache in der anhaltenden und unverminderten Verwendung von TBT-haltigen Antifouling-Anstrichen in der Handelsschifffahrt haben. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass sich das Verwendungsverbot für Sportboote in Yachthäfen positiv ausgewirkt hat. Eine über den lokalen Bereich hinausgehende deutliche Verringerung der Belastung mariner Ökosysteme ist von dieser Maßnahme jedoch nicht zu erwarten, da der Marktanteil der Freizeitboote am Absatz von Antifouling-Farben nur ca. 10 % beträgt.

Die Mitte der 80er Jahre extrem hohe und danach kontinuierlich sinkende Kontamination mariner Lebewesen mit Triphenylzinn (TPT) beruht darauf, dass Triphenylzinnverbindungen bis 1985 als zusätzlicher Wirkstoff in Antifoulings eingesetzt wurden.

Zur Erfassung potenzieller Problemgebiete verwendet OSPAR für TBT in Miesmuscheln einen ökotoxikologischen Schwellenbereich in Höhe von 1 bis 10 ng/g TG [2]. Die TBT-Konzentrationen in Miesmuscheln von List/Königshafen übersteigen im Beobachtungszeitraum (1986 bis 1999) diesen Indikatorwert für potenzielle Problemgebiete um das 5- bis 11fache und in Miesmuscheln von Eckwarderhörne um das 10- bis 20fache. Vergleichende Betrachtungen der Konzentrationen organischer Zinnverbindungen in Miesmuschel, Aalmuttermuskulatur und Silbermöwenei ergeben keine Hinweise auf eine Biomagnifikation dieser Substanzen innerhalb des untersuchten marinen Ökosystems.

[1] OSPAR (1997): Agreed Background/Reference Concentrations for Contaminants in Sea Water, Biota and Sediment.
[2] OSPAR (1997): Agreed ecotoxicological assessment criteria for trace metals, PCBs, PAHs, TBT and some organochlorine pesticides

VI 3.1.8 Eutrophierung in der Nordsee

Als Eutrophierung gilt eine durch menschliche Aktivitäten verursachte Anreicherung des Wassers mit Nährstoffen. Dies bewirkt ein beschleunigtes Wachstum von Algen und höheren Formen pflanzlichen Lebens und führt zu einer unerwünschten Störung der im Wasser befindlichen Lebensgemeinschaften sowie der Qualität des Wassers. Bei einer Überdüngung des Meeres kann es zu verstärktem Algenwachstum, Verschiebungen der Artenzusammensetzung und Sauerstoffmangel wegen des bakteriellen Abbaus abgestorbener Algen kommen.

Die Nährsalzeinträge über Flüsse sowie Atmosphäre sind im vergangenen Jahrhundert erheblich angestiegen. Dadurch erhöhten sich die Nährstoffkonzentrationen in unseren Küstengewässern. Seit den 80er Jahren konnten vermehrt direkte und indirekte Effekte beobachtet werden. Dazu zählen starke Blüten einzelliger Phytoplanktonarten, Grünalgenmatten im Wattenmeer und Sauerstoffmangel in der Deutschen Bucht.

Innerhalb von 20 Jahren seit Mitte der 70er hat sich die Biomasseproduktion des Phytoplanktons im niederländischen Wattenmeer verdoppelt bis verdreifacht. Eine ähnliche Entwicklung war im nordfriesischen Wattenmeer zu beobachten. Die erfolgreiche erhebliche Reduktion der Phosphateinträge hat nicht zur Abnahme bei der Algenbiomasse geführt. Anders als für Süßgewässer liegt für viele ästuarine und Küstengewässer zumindest zeitweise Stickstofflimitierung vor. Dazu ist eine weitere Reduktion der Stickstoff- und Phosphateinträge anzustreben.

Die Überwachung der für Eutrophierung relevanten Parameter geschieht im Rahmen des BLMP. Dabei ist zwischen Messungen von Schiffen, (hydrografische, physiko-chemische und biologische Parameter) Dauermessbojen (hydrografische und physiko-chemische Parameter) und Flugzeugen (Großalgen, Seegras, Muschelbänke etc.) zu unterscheiden.

Eutrophierungszustand der Deutschen Bucht und des Wattenmeeres

Eutrophierung spielt im Meeresschutz eine wichtige Rolle. Zu ihrer Bekämpfung ist vor der Initiierung möglicher Maßnahmen eine detaillierte Bestandsaufnahme hinsichtlich des Eutrophierungsgrades unerlässlich. Unter dem OSPAR-Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Nordostatlantiks wurde zu diesem Zweck in langwierigen Verhandlungen eine zwischen den Vertragsstaaten harmonisierte Eutrophierungsbewertung, die „Common Procedure for the Identification of the Eutrophication Status of the Maritime Area“ entwickelt. Sie ist gleichzeitig eines der Hauptelemente der OSPAR-Strategie zur Bekämpfung der Eutrophierung, welche das Ziel hat, bis spätestens 2010 eine gesunde Meeresumwelt zu gewährleisten in der Eutrophierung nicht länger auftritt.

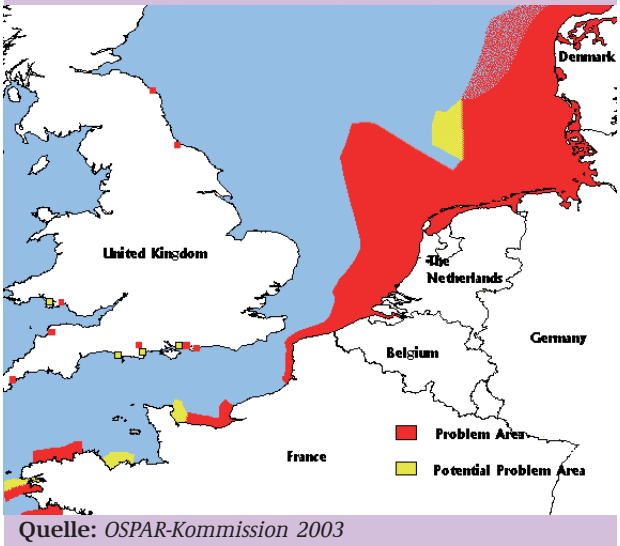
Das Ausweisungsverfahren besteht aus einem integrierten Set von Bewertungskriterien, die gemeinsam eine holistische und harmonisierte Eutrophierungsbewertung von Meeresgebieten erlauben. Mit Hilfe dieses Prozesses wird das OSPAR Konventionsgebiet, also auch die Nordsee einschließlich Wattenmeer, hinsichtlich Eutrophierung in drei Klassen Problemgebiet (PG); Potenzielles Problemgebiet (PPG); Nicht-Problemgebiet (NPG) unterteilt:

Die ausgewählten Bewertungskriterien des gemeinsamen Ausweisungsverfahrens umfassen physikochemische wie auch biologische Parameter und sind in der Tab. VI 3.1.8-1 aufgelistet.

Im Juni 2003 wurde ein auf nationalen Berichten aufbauender zusammenfassender Bericht zum Eutrophierungszustand des OSPAR Konventionsgebietes publiziert. Ein wesentliches Ergebnis ist, dass weite Bereiche der südlichen Nordsee bis zur Südküste Norwegens und Schwedens, aber auch Küsten Großbritanniens als Eutrophierungsproblemgebiete eingestuft wurden (Abb. VI 3.1.8-1). Für diese Gebiete sind nun Minderungsmaßnahmen zu ergreifen, um sie gemäß OSPAR Strategie bis 2010 in Nicht-Problem Gebiete zu überführen [1].

Der Eutrophierungszustand des deutschen Nordseebereichs wird aus Abb. VI 3.1.8-2 deutlich. Vor allem der küstennahe Bereich ist eutrophiert. Hauptgrund sind Nährsalzeinträge aus deutschen Flüssen, aber auch der Ferntransport von der englischen Küste und dem Rhein sowie atmosphärische Stickstoffeinträge. Mit zunehmender Verdünnung zur Hohen See hin nehmen die Eutrophierungsprobleme ab; die äußere Deutsche Bucht wurde folglich als Nicht-Problem Gebiet eingestuft.

Abb. VI 3.1.8-1: *Eutrophiezustand der südlichen Nordsee und Englischer Kanal*



Quelle: *OSPAR-Kommission 2003*

VI 3.1.8-1: *Kriterien zur Bewertung physiko-chemischer und biologischer Parameter*

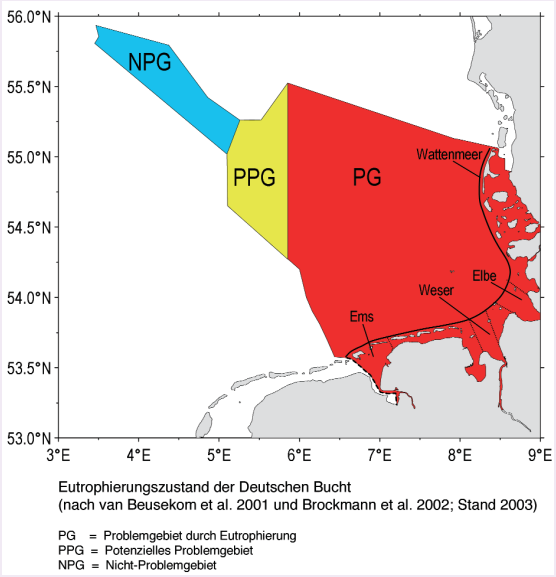
Kategorie		Bewertungsparameter
I	**Grad der Nährstoffanreicherung**	
	1	**Flusseinträge und direkte Einträge** Erhöhte Einträge und/oder steigende Trends (im Vergleich zu früheren Jahren)
	2	**Winter DIN- und/oder DIP Konzentrationen** Erhöhte Gehalte (definiert als Konzentration > 50 % über salzgehaltsnormierter und/oder regionalspezifischer Hintergrundkonzentration)
	3	**Erhöhtes Winter N/P Verhältnis (Redfield N/P = 16)** Erhöht im Vergleich zum natürlichen Redfield Verhältnis (> 50 % Abweichung: > 25)
II	**Direkte Effekte der Nährstoffanreicherung (in der Wachstumsperiode)**	
	1	**Maximale und mittlere Chlorophyll a Konzentration** Erhöhte Gehalte (definiert als Konzentration > 50 % über regionalen (z.B. offene See) oder historischen Hintergrundkonzentrationen)
	2	**Regional-/Gebietsspezifische Phytoplankton Indikatorarten** Erhöhte Dichten (und erhöhte Blütendauer)
	3	**Makrophyten einschließlich Makroalgen (regional spezifisch)** Verschiebungen von langlebigen zu kurzlebigen (störenden) Arten (z.B. Ulva)
III	**Indirekte Effekte der Nährstoffanreicherung (in der Wachstumsperiode)**	
	1	**Grad der Sauerstoffverarmung** Herabgesetzte Gehalte (< 2mg/l: akut toxisch, 2–6 mg/l: Sauerstoffarmut)
	2	**Veränderungen/Absterben bei Zoobenthos und Fischen** Absterben (verursacht durch Sauerstoffmangel und/oder giftige Algen) Langzeitveränderungen in Zoobenthos (Biomasse und/oder Artenzusammensetzung)
	3	**Organischer Kohlenstoff/organische Substanz** Erhöhte Gehalte (in Relation zu Sauerstoffmangel, relevant in Sedimentationsgebieten)
IV	**Andere mögliche Effekte der Nährstoffanreicherung (in der Wachstumsperiode)**	
	1	**Algentoxine (DSP/PSP-Auftreten in Muscheln)** Vorkommen (Phytoplankton Indikatorarten)

DSP = Diarrhetic Shellfish Poisoning (diarrhöische Muschelvergiftung beim Menschen)

PSP = Paralytic Shellfish Poisoning (paralytische Muschelvergiftung beim Menschen)

Quelle: Umweltbundesamt 2005

Abb. VI 3.1.8-2: *Eutrophierungszustand der Deutschen Bucht*



Quelle: *Umweltbundesamt 2003 a*

Das Wattenmeer wurde nach Anwendung des OSPAR Ausweisungsverfahrens von den Anrainerstaaten Dänemark, Deutschland und Niederlande im Jahre 2003 gleichfalls als eutrophiert eingestuft. Im aktuellen Qualitätszustandsbericht des Wattenmeeres von 2004 [2] werden zwar einige Verbesserungen im Vergleich zu früheren Bewertungen festgestellt, aber das übergeordnete Qualitätsziel für das Wattenmeer, dass keine Eutrophierung mehr auftritt, ist noch nicht erreicht.

Trotz der teilweise erheblich verringerten Nährsalzeinträge in die Deutsche Bucht (besonders bei Phosphat) kann hinsichtlich ihrer ökologischen Auswirkungen noch keine Entwarnung gegeben werden. Die Reduktionsbemühungen sind fortzusetzen und vor allem im Hinblick auf Stickstoff zu verstärken.

Zeitliche Veränderungen der Nährstoffkonzentrationen und des Phytoplanktons in der Deutschen Bucht

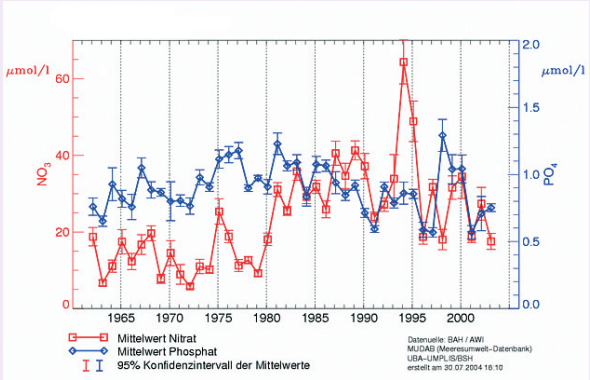
Neben Einträgen aus den Flüssen Elbe, Weser, Ems und Eider werden Salzgehalt und Nährsalzkonzentrationen des Küstenwassers der Deutschen Bucht noch von aus westlicher Richtung stammendem Küstenwasser beeinflusst. Zusätzlich spielt atmosphärische Deposition von Stickstoff noch eine Rolle.

Die Nährsalzverteilung wird neben dem Strömungsregime auch von biologischen Faktoren wie Aufnahme, Zehrung, Abbau (Remineralisierung) sowie biogeochemischen Prozessen wie Sedimentation und Denitrifizierung gesteuert. Im Sommer bei ausreichendem Lichtangebot wird von Algen aus den anorganischen Nährstoffen Biomasse aufgebaut. Bei den erhöhten sommerlichen Wassertemperaturen werden auch die Abbauprozesse organischer Substanzen beschleunigt. Insgesamt sind die biologischen Prozesse in dieser Jahreszeit beschleunigt, so dass die Nährsalzkonzentrationen im Sommer eher niedrige Werte annehmen. Während des Winters sind die Nährsalzaufnahme durch Algen und die anschließende Freisetzung deutlich herabgesetzt. Folglich sind die Nährsalzkonzentrationen im Wasser im Winter höher als in Frühjahr und Sommer. Messungen von Nährsalzkonzentrationen werden bevorzugt im Winter vorgenommen, da dort die geringste biologische Aktivität vorherrscht. So erhält man einen Eindruck, wie viel Nährstoffe der Frühjahrsblüte zur Verfügung stehen auch wenn die Nährsalze im untersuchten Wasserkörper längst mit der Strömung fort transportiert wurden.

Die Nährsalzkonzentrationen zeigen in der Deutschen Bucht einen deutlichen Abfall von der Küste hin zur offenen See. Ergebnisse für den Zeitraum 1999–2003 aus dem Bund-Länder-Messprogramm [3] zeigen für Phosphat einen Abfall von 1,1 bis 1,3 µmol in Küstennähe (1,1–1,5 µmol im Watt) auf ungefähr 0,5 µmol in der offenen Deutschen Bucht während die Nitratkonzentrationen von 300–700 µmol in den Flussästuaren und 80–100 µmol im Wattenmeer auf 5–10 µmol in der offenen Deutschen Bucht absinken.

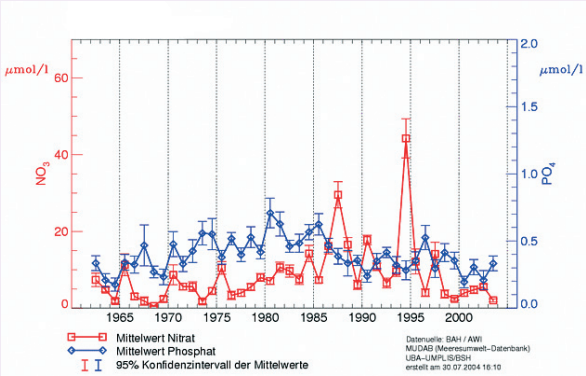
Langzeituntersuchungen von Nährstoffen und Plankton in der Deutschen Bucht (Station Helgoland Reede) werden von der Biologischen Anstalt Helgoland (BAH, jetzt zum Alfred-Wegener Institut gehörend) seit 1962 durchgeführt. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Phosphat-Eutrophierung in der Deutschen Bucht schon in den 60er Jahren begann (Abb. VI 3.1.8-3 und Abb. VI 3.1.8-4), u.a. nachdem phosphathaltige Waschmittel in größerem Maße eingesetzt wurden. Bis Mitte der 70er Jahre hatten sich die winterlichen Phosphat-Konzentrationen

Abb. VI 3.1.8-3: *Nährstoffkonzentrationen Wintermonate Helgoland-Reede*



Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

Abb. VI 3.1.8-4: *Nährstoffkonzentrationen Sommermonate Helgoland-Reede*



Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

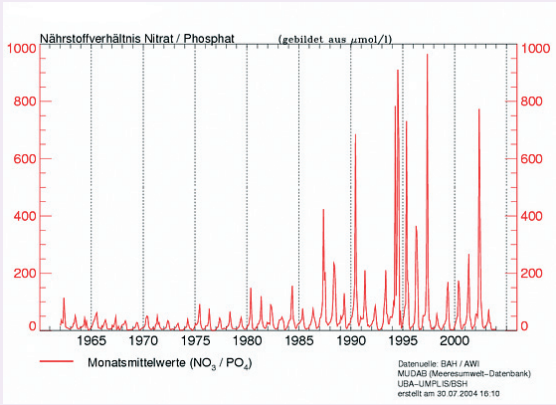
bei Helgoland im Jahresmittel stark erhöht. Sie blieben für etwa ein Jahrzehnt auf diesem Niveau und sanken danach wieder ab. Dies kann als Folge der Maßnahmen zur Phosphat-Reduzierung wie der Einführung phosphatfreier Waschmittel und dem Einbau von Phosphateliminationsanlagen in industriellen und kommunalen Kläranlagen gewertet werden. Die Sommerwerte für Phosphat zeigen einen vergleichbaren Verlauf auf niedrigerem Niveau, da in der Wachstumsperiode der Algen Nährsalze in die Zellen aufgenommen werden und somit in der Wassersäule in geringen Konzentrationen vorliegen.

Die Nitrat-Eutrophierung verlief davon abweichend: Ein deutlicher Anstieg der winterlichen Nitrat-Konzentrationen war erst in den 80er Jahren zu beobachten. Sie verdoppelten sich im Jahresmittel innerhalb von 10 Jahren. Von 1989 bis 1991 sanken sie wieder (Abb. VI 3.1.8-3). In den beiden anschließenden Jahren erfolgte ein Anstieg, der 1994 den höchsten Wert für den gesamten Beobachtungszeitraum aufwies. Danach fielen die winterlichen Monatsmittel für Nitrat bis 1996 stark ab und pendeln seither zwischen etwa 20 und 35 µmol/l. Für die sommerlichen Nitratkonzentrationen ist der Verlauf seit 1962 vergleichbar, aber auf niedrigerem Niveau. Im Gegensatz zum zeitlichen Verlauf der Phosphatkonzentrationen seit 1962 wird deutlich, dass die Maßnahmen zur Reduzierung der Stickstoffeinträge in den Gewässern, vor allem aus der Landwirtschaft, unzureichend sind und in ihrer Wirksamkeit eine erhebliche Verzögerung von mehreren Jahren aufweisen können.

Im letzten Qualitätszustandsbericht für die Nordsee [4] wurde festgestellt, dass sich für die Nordsee insgesamt kein eindeutiger allgemeiner zeitlicher Trend hinsichtlich der Entwicklung der Nährsalz-Konzentrationen nachweisen lässt, wohl aber auf regionaler Ebene. So zeigte sich, dass für dänische Gewässer und die Deutsche Bucht einschließlich des Wattenmeeres eine signifikante Abnahme der Nährsalzeinträge und Konzentrationen (vor allem für Phosphat) feststellbar ist.

Die ungleiche Entwicklung der Stickstoff- und Phosphor-Eutrophierung führt zu Verschiebungen im N:P-Verhältnis, welches unter Umständen wichtiger für das Phytoplankton sein kann als die absoluten Nährstoffkonzentrationen. Seit 1980 ist der Stickstoffüberschuss stark angestiegen und liegt erheblich über dem in ozeanischen Phytoplanktonzellen natürlicherseits vorhandenen Verhältnis von 16:1 (Redfield-Ratio). Seit 1988 wird beobachtet, dass der Stickstoffüberschuss auch im Sommer andauert. In früheren Jahren sank das N:P-Verhältnis im Sommer durch die schnellere Remineralisation des Phosphors stets unter 16 (Phosphorüberschuss). Heute ist nicht nur im Winter ein größerer Stickstoffüberschuss (N:P <100) die Regel, sondern zusätzlich noch im Sommer registrierbar (Abb. VI 3.1.8-5).

Abb. VI 3.1.8-5: *Nährstoffverhältnis Helgoland-Reede*



Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

Im kontinentalen Küstenstreifen der Nordsee lässt sich im Sommer ein großer Stickstoffüberschuss ermitteln. Berechnungen für den Qualitätszustandsbericht für die Nordsee [5] ergaben einen Überschuss in der Größenordnung von 300 000 t. Dieser Überschuss hat Auswirkungen auf das Artenspektrum des Phytoplanktons, weil einige Algenarten (z.B. Phaeocystis globosa) in der Lage sind, bei Stickstoffüberschuss und Phosphatmangel organisch gebundenen Phosphor zu nutzen und damit gegenüber anderen Arten einen Vorteil erlangen. Die Zusammensetzung des Phytoplankton ist sehr variabel. Bei Helgoland ist dies begünstigt durch die dort vorkommenden verschiedenen Wasserkörper. Die Phytoplankton-Bestände (Biomasse gemessen als organischer Kohlenstoff) sind an der Station Helgoland-Reede in der jeweiligen Vegetationsperiode (März bis September) seit 1962 um etwa das Dreifache angestiegen. Eine Zunahme der Diatomeen-Bestände erfolgte jedoch nicht. Seit den 70er Jahren nahmen

die Flagellaten (definiert als Phytoplankton außer Diatomeen) stark zu. Neben den Dinoflagellaten-Blüten sind besonders die kleinen, nackten Flagellaten häufiger aufgetreten. Die Frühjahrsblüten werden durch kälteliebende Kieselalgen bestimmt. Nach warmen Wintern, wie im Jahre 2000, ist Coscinodiscus wailesii dominante Art im frühen Frühjahr. Diese Alge kann dann die Biomasse in der gesamten Deutschen Bucht prägen, denn sie weist einen hohen Kohlenstoffgehalt auf und wird schlecht gefressen. Nach den Kieselalgenblüten im Frühjahr nehmen Flagellaten eine zunehmend wichtige Rolle in der weiteren Sukzession der Algenblüten ein. Auch der eingeschleppte potenziell toxische Flagellat Chattonella sp. kann sehr hohe Zellzahlen erreichen. Ein Vertreter dieser Gattung (Chattonella cf. verruculosa) führte Ende der 90er Jahre in der nördlichen Nordsee zu Fischsterben. Auch bei Sylt und Helgoland konnte diese Art im Mai 2000 nachgewiesen werden; Auswirkungen auf den Fischbestand wurden nicht beobachtet [3].

Im schleswig-holsteinischen Wattenmeer wurden zwischen 1999 und 2003 nur vereinzelte außergewöhnliche Algenblüten beobachtet. So trat im Sommer eine kurze Blüte einer Chrysochromulina-Art mit sehr hohen Zellzahlen (bis zu 4 Mio. Zellen pro Liter) auf [3].

Zeitliche Veränderungen der Nährstoffkonzentrationen und des Phytoplanktons an der niedersächsischen Küste

Nach Messungen des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie (NLÖ) zeigen sich die typischen Jahresgänge für Nitrat und Phosphat auch an der seit 1985 beprobten Dauermessstelle vor Norderney. Die Konzentrationen sinken während der Hauptvegetationsperiode auf Minimalwerte ab und erreichen im Winter das Jahresmaximum. Bei der Insel Norderney zeigt sich beim ortho-Phosphat ein Maximum zum Sommerende. Einzige derzeitige Erklärung für das sommerliche Phosphatmaximum ist der Abbau organischen Materials (Remineralisation) aus dem Watt. Hohe Sommerwerte des ortho-Phosphats werden auch in anderen Wattgebieten (Schleswig-Holstein, Niederlande) beobachtet. Aus diesen Gebieten ist bekannt, dass in früheren Jahrzehnten im Sommer ein lang anhaltendes Phosphatminimum vorherrschte. Die hohen Sommerwerte werden als deutliches Eutrophierungssignal gewertet.

Vom NLÖ wurde von 1985 bis 2003 im ostfriesischen Wattenmeer an der Dauerstation vor der Insel Norderney die Abnahme der Konzentrationen von Phosphat und gelöstem anorganischen Stickstoff festgestellt. Beim Stickstoff setzte die Verringerung nach 1990 ein. Die Silikatkonzentrationen blieben unverändert.

Die Abnahme der winterlichen Phosphatgehalte bei Norderney, dem niederländischen Wattenmeer (Marsdiep) und der Deutschen Bucht (Station Helgoland Reede) wird auf umfangreiche Maßnahmen zur Reduktion der Phosphateinträge zurückgeführt. Beim Silikat waren keine Veränderungen zu erwarten, da die winterlichen Konzentrationen durch vom Menschen kaum beeinflusste Verwitterungsprozesse gesteuert werden. Die Abnahme des gelösten anorganischen Stickstoffs ist sowohl bei den für diese Region maßgeblichen Einträgen aus der Ems als auch in anderen Gebieten, wie z.B. Helgoland Reede, nicht beobachtet worden. Das Niedersächsische Landesamt für Ökologie kommt zu dem Schluss, dass es vor diesem Hintergrund nicht berechtigt wäre, den beobachteten Rückgang der winterlichen Stickstoffkonzentrationen bereits als Ergebnis von Reduktionsmaßnahmen zu werten.

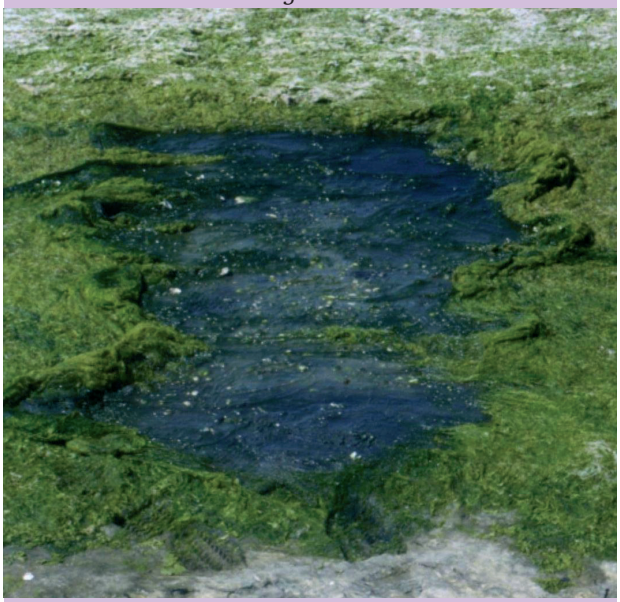
Im Untersuchungsgebiet bei Norderney sind Blüten des Phytoplankton Schleimkugel- oder Schaumalge Phaeocystis globosa besonders auffällig. Fast alljährlich wurde eine intensive Frühjahrsblüte dieser Alge beobachtet. Phaeocystis globosa konnte über 99 % der Anzahl aller im Wasser vorhandenen Phytoplanktonalgen stellen. Von 1982 bis 1993 wurden immer höhere Zelldichten bei der Frühjahrsblüte registriert. 1996 und 1997 blieben die für April/Mai zu erwartenden Frühjahrsblüten dieser Alge bei Norderney aus. Im Jahr 2004 konnte wieder ein ausgeprägtes Frühjahrsmaximum beobachtet werden.

Im Zeitraum 1999 – 2003 traten im niedersächsischen Wattenmeer wiederholt höhere Zelldichten potenziell toxischer Dinophysis-Arten auf. Sie bilden das Gift DSP, welches beim Menschen Durchfall und Erbrechen verursachen kann. Die Aufnahme erfolgt durch menschlichen Genuss von Miesmuscheln, die dieses Toxin nach Fraß von Dinophysis anreichern können. Bei Überschreitung der DSP-Grenzwerte in Muschelweichkörpern wird die Vermarktung von Miesmuscheln in Deutschland eingestellt. Das erfolgte im Untersuchungszeitraum einige Male.

Grünalgenausbreitung im Wattenmeer

Makroskopisch sichtbare grüne Großalgen (Abb. VI 3.1.8-6) waren im Wattenmeer quantitativ unbedeutend bis sie vor rund zwanzig Jahren erstmalig in großflächig auftraten. Zehn Jahre später erfolgte eine bis dahin nicht beobachtete Massenentwicklung mit hohen Bedeckungsgraden der Wattflächen. Dieses Phänomen wiederholte sich in den nächsten drei Sommern und das Grünalgenaufkommen blieb auch in den Folgejahren vergleichsweise hoch. Den Wattboden bedeckende Grünalgenteppiche sind als Ausdruck fortschreitender Eutrophierung zu werten. Sie beeinträchtigen die Wattbodenfauna und See-

Abb. VI 3.1.8-6: *Grünalgen im Gezeitenbereich*



Quelle: *Umweltbundesamt 2004 e*

graswiesen des Gezeitenbereiches. Die überlagerten Bodenbewohner sterben durch Sauerstoffmangel oder dadurch eventuell bedingte Sulfidvergiftung. Das Auftreten von Grünalgenmatten hat die sommerliche Wattlandschaft augenfällig verändert. Als eine Ursache werden erhöhte Nährstoffeinträge und Nährsalzdepots in den Wattsedimenten gesehen.

Schleswig-holsteinisches Wattenmeer

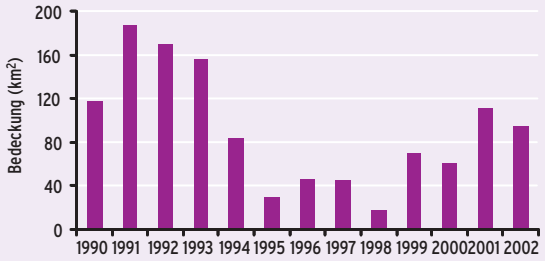
Im schleswig-holsteinischen Wattenmeer ist die Entwicklung der Grünalgen nach einer maximalen Ausdehnung von 1990 bis 1992 mit Bewuchs auf bis zu 20 % der Wattflächen momentan rückläufig. Seit 1994 ist ein Abklingen der Massenvermehrung deutlich. Verglichen mit den Massenentwicklungen Anfang der 90er Jahre wurden 2003 niedrige Werte erreicht, die aber die Ausdehnung vor den 80er Jahren immer noch übertreffen. Kompakte, ausgedehnte Grünalgenmatten traten 2003 kaum auf. Insgesamt ist der Bewuchs 2003 auf etwa 1,7 % der Wattflächen zurückgegangen, die Phytobiomasse erreichte im Sommer 2003 auch nur geringe Werte.

Diese zeitliche Entwicklung lässt vermuten, dass es sich bei der Massenvermehrung der Grünalgen im schleswig-holsteinischen Wattenmeer um eine mehrjährige Episode im Ablauf der Eutrophierung handelt, die noch nicht abgeklungen ist. Das Auftreten dieser Grünalgen korreliert nicht mit der Nährstoffdynamik in der Deutschen Bucht. Eine mögliche Erklärung ist, dass die erhöhten Stickstoffeinträge in das Küstenwasser in Verbindung mit geeigneten Witterungsbedingungen zu einer Anreicherung von Algensporen im Wattsediment geführt haben, die in den Folgejahren auch unter weniger günstigen Bedingungen sommerliches Massenauftreten ermöglichte. Diese „Sporenbank“ im Wattboden baut sich offensichtlich nur allmählich ab [6].

Niedersächsisches Wattenmeer

Im niedersächsischen Wattenmeer wurde Ende der 1980er Jahre ein Massenvorkommen von Makroalgen auf den trockenfallenden Wattflächen beobachtet. Die Ausdehnung der Grünalgen erreichte 1991 ihr bisheriges Maximum mit einer Flächenbedeckung von 187 km^2 (Abb. VI 3.1.8-7). Dies entspricht ungefähr 15 % der gesamten Wattflächen Niedersachsens. Von 1991 bis 1995 nahm die Flächenbedeckung kontinuierlich auf 30 km^2 ab und verblieb bis 1998 unter 50 km^2. Das entspricht einer prozentualen Bedeckung von unter 5 %. Ab 1999 ist wieder eine Zunahme zu beobachten, die sich in den 2000er Jahren um 100 km^2 (etwa 8 % Bedeckung) bewegt [7].

Abb. VI 3.1.8-7: *Jährliche Maximalbedeckung der eulitoralen Wattflächen im niedersächsischen Wattenmeer mit Makroalgen*



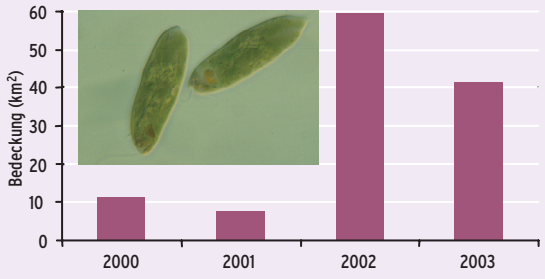
Quelle: *Niedersächsisches Landesamt für Ökologie 2004*

Grüner Sand, ein neues Phänomen im niedersächsischen Wattenmeer?

Bei der seit 1988 durchgeführten Luftüberwachungen des niedersächsischen Wattenmeeres fielen erstmals 1999 deutlich grün gefärbte Wattflächen auf. Die Grünfärbung war von Spätfrühling (Mai) bis Herbst (November) zu beobachten und veränderte die sommerliche Strand- und Wattlandschaft in diesen Monaten auffällig. Beprobungen ergaben, dass die Grünfärbung durch einzellige Flagellaten wie Euglena viridis var. maritima hervorgerufen wird.

Im niedersächsischen Wattenmeer ist die Entwicklung der „grünen Sände“ von einer anfänglichen Bedeckung von 11 km^2 im Jahr 2000 auf knapp 60 km^2 (ca. 4 % der trockenfallenden Wattflächen)im Jahr 2002 angestiegen (Abb. VI 3.1.8-8). Die Luftüberwachung 2003 ergab eine leicht rückläufige Bedeckung von 41 km^2 (ca. 3 % der Wattflächen). Das größte Vorkommen trat in jedem Jahr im Bereich Weser/Jade und Scharhörn/Neuwerk auf, während es in westlicher Richtung abnahm. Hierbei kamen

Abb. VI 3.1.8-8: *Maximalbedeckung (km²) der niedersächsischen Strand- und Wattgebiete mit grünen Sänden (Euglena viridis var. maritima)*



Quelle: *Niedersächsisches Landesamt für Ökologie 2004*

die Einzeller häufig in sandigen Gebieten und/oder entlang von Prielrändern vor [8].

Im Süßwasser ist Euglena viridis eine Indikatorart für organisch stark verschmutzte Gewässer. Ob auch Euglena viridis var. maritima im Wattenmeer eine vergleichbare Funktion als Indikatorart hat, ist noch zu klären [8].

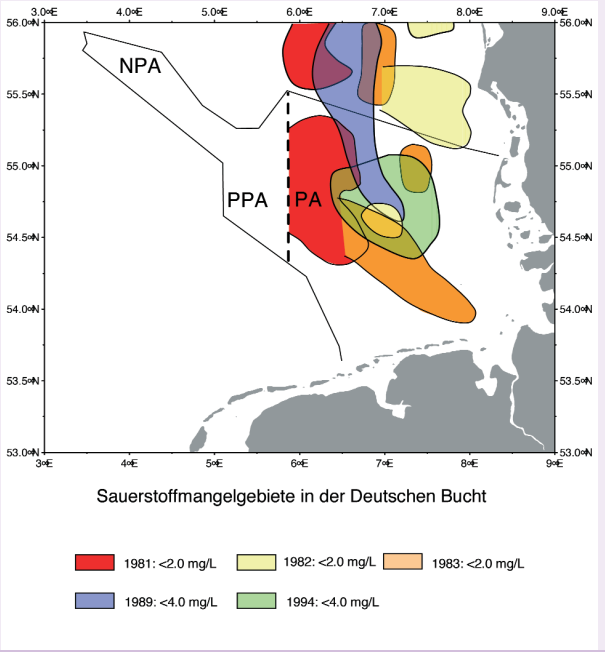
Sauerstoffmangel in der Deutschen Bucht

Auftreten von Sauerstoffmangel im Meer kann natürliche oder anthropogene Ursachen haben. Es wird als sekundärer Effekt von Eutrophierung interpretiert. Sauerstoff wird wegen mikrobieller Abbauprozesse organischer Substanz verbraucht. Diese Sauerstoffzehrung kann bis zum vollständigen Verschwinden des Sauerstoffs aus dem Wasserkörper und Auftreten des Zellgiftes Schwefelwasserstoff führen. Das wird als Warnsignal bei anthropogener Eutrophierung gewertet.

Seit Beginn der 80er Jahre konnte im Sommer in der Deutschen Bucht wiederholt Sauerstoffmangel in den bodennahen Wasserschichten beobachtet werden (Abb. VI 3.1.8-9). Das Auftreten dieses großflächigen Phänomens folgte ungewöhnlichen Blüten des Phytoplanktons im Frühjahr. Aus deren mikrobiellem Abbau im weiteren Jahresverlauf resultieren hohe organische Frachten, die unter bestimmten hydrografischen wie meteorologischen Bedingungen (geschichteter Wasserkörper) in Bodennähe zur steten Zehrung des Sauerstoffs führen können. Je nach Ausmaß des Sauerstoffmangels werden die Bodenbewohner mehr oder weniger geschädigt. Angepasste, robuste opportunistische Arten überstehen diese Situation besser als empfindlichere Arten, wie z.B. Seesterne und Seeigel. Fische fliehen in Abhängigkeit ihrer Lebensweise und weisen deshalb deutlich höhere Überlebensraten auf als festsitzende Lebewesen.

[1] OSPAR (2003): OSPAR Integrated Report 2003 on the Eutrophication Status of the OSPAR Maritime Area Based upon the First Application of the Compretensive Procedure. 59pp.

Abb. VI 3.1.8-9: *Sauerstoffmangelgebiete in der Deutschen Bucht*



Quelle: *Umweltbundesamt 2004 f*

[2] K. ESSINK, C. DETTMANN, H. FARKE, K. LAURSEN, G. LÜERßEN, H. MARENCIC, W. WIERSINGA (2004): Bodden Sea Quality Status Report 2004. Bodden Sea Ecosystem No. 19 -2005 -
[3] Messprogramm Meeresumwelt (2005): Zustandsbericht 1999-2002 für Nord- und Ostsee
[4] OSPAR-Commissions 2000. Quality Status Report 2000. OSPAR Commission, London. 108 + vii pp.
[5] NSTF 1993. North Sea quality status report 1993. North Sea Task Force, Oslo and Paris Commissions, London. Olson & Olson. 132pp
[6] REISE, K. C. 2004: Vorkommen von Grünalgen und Seegras im Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer 2003: Forschungsbericht im Auftrag des Landesamtes für den Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer
[7] Niedersächsisches Landesamt für Ökologie (2004), persönliche Mitteilung Forschungsstelle Küste
[8] JAKLIN, S., BRENNHOLT, S. & J. PIONTEK (2004): Der grüne Sand: Zur Verbreitung und Ökophysiologie von Euglenia Viridis var. Maritima im niedersächsischen Wattenmeer. Abschlussbericht Forschungsprojekt der Niedersächsischen Wattenmeerstiftung Nr. 28/02.

VI 3.2 Ostsee

VI 3.2.1 Wassereinzugsgebiet

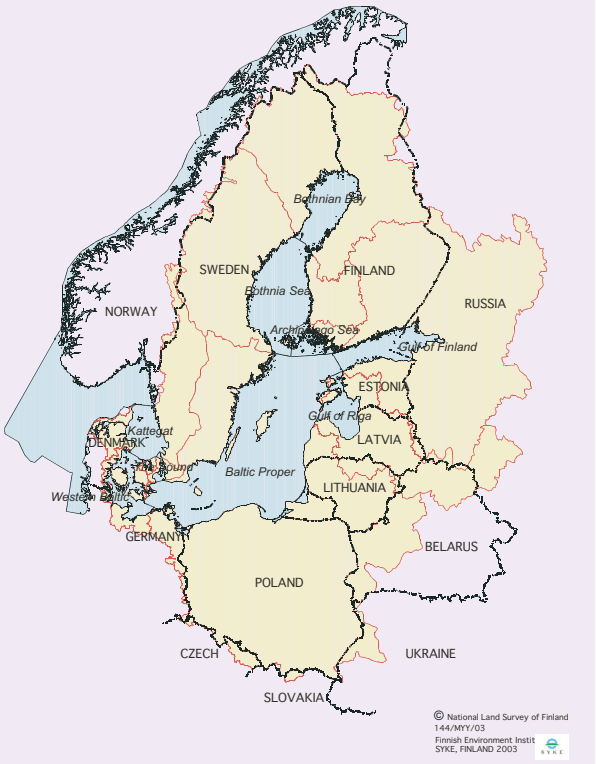
Das Ostsee-Einzugsgebiet umfasst ca. 1 720 000 km², wovon 95 % der Fläche auf die neun Ostseeanliegerstaaten Finnland, Russland, Estland, Lettland, Litauen, Polen, Deutschland, Dänemark und Schweden entfallen. Die restlichen 5 % der Einzugsgebietsfläche gehören zu Weißrussland, zur Ukraine, zur Tschechischen Republik, zur Slowakischen Republik und zu Norwegen (Tab. VI 3.2.1-1 und Abb. VI 3.2.1-1).

Tab. VI 3.2.1-1: *Anteil der Ostseeanliegerstaaten am Ostsee-Einzugsgebiet bezogen auf die Teilgebiete der Ostsee und die gesamte Ostsee (in km²)*

Teilgebiet/Land	Bottenwiek	Bottnische See	Archipelsee	Golf von Finnland	Golf von Riga	zentrale Ostsee	Westliche Ostsee	Sund	Kattegat	Gesamt
Vertragsstaaten der Helsinki-Kommission										
Finnland	146 000	39 300	9 000	107 000	–	–	–	–	–	301 300
Russland	–	–	–	276 100	23 700	15 000	–	–	–	314 800
Estland	–	–	–	26 400	1 7600	1 100	–	–	–	45 100
Lettland	–	–	–	3 600	49 600	11 400	–	–	–	64 600
Litauen	–	–	–	–	11 140	54 160	–	–	–	65 300
Polen	–	–	–	–	–	311 900	–	–	–	311 900
Deutschland	–	–	–	–	–	18 200	10 400	–	–	28 600
Dänemark	–	–	–	–	–	1 200	12 340	1 740	15 830	31 110
Schweden	113 620	176 610	–	–	–	83 225	–	2 885	63 700	440 040
Gesamt	259 620	215 910	9 000	413 100	102 040	496 185	22 740	4 625	79 530	1 602 750
Nicht-Vertragsstaaten der Helsinki-Kommission										
Weißrussland					25 800	58 050				83 850
Ukraine						11 170				11 170
Tschechische Republik						7 190				7 190
Slowakische Republik						1 950				1 950
Norwegen	1 055	4 855							7 450	13 360
Gesamtes Ostsee-Einzugsgebiet										
Gesamt	**260 675**	**220 765**	**9 000**	**413 100**	**127 840**	**574 545**	**22 740**	**4 625**	**86 980**	**1 720 270**

Quelle: *Helsinki-Kommission 2004*

Abb. VI 3.2.1-1: *Wassereinzugsgebiet und Gliederung der Ostsee*



Quelle: *Helsinki-Kommission 2004*

Den größten Anteil am Ostsee-Einzugsgebiet hat Schweden, gefolgt von Russland, Polen und Finnland. Deutschland hat das kleinste Ostsee-Einzugsgebiet mit ungefähr 29 000 km², jedoch ist dies mit Bevölkerungsdichten von 74 Einwohnern pro km² (Ew/km²) in der zentralen Ostsee und 159 Ew/km² in der westlichen Ostsee stark besiedelt. Demgegenüber ist das Einzugsgebiet am Bottenwiek und an der Bottnischen See sehr dünn besiedelt (Abb. VI 3.2.1-2).

Etwa 60 % der deutschen Ostsee-Einzugsgebietsfläche entfallen auf Mecklenburg-Vorpommern, 18 % auf Schleswig-Holstein und 22 % auf die Länder Brandenburg und Sachsen.

Der größte Teil der Schadstofffrachten wird über die großen Zuflüsse in die Ostsee eingetragen, die jedoch aus punktuellen und diffusen Einleitungen aus dem gesamten Ostsee-Einzugsgebiet stammen. Im langjährigen Mittel fließen 479 km³/a (15 190 m³/s) Flusswasser in die Ostsee. Davon stammt ca. die Hälfte aus den folgenden sieben größten Zuflüssen zur Ostsee: Newa, Vistula, Nemunas, Daugava, Oder, Göta älv und Kemijoki (Tab. VI 3.2.1-2).

Der Süßwasserzustrom aus dem deutschen Ostsee-Einzugsgebiet beschränkt sich auf eine Vielzahl von kleinen Flüssen und Gräben, die nur einen geringen Wassereintrag verursachen. Die Oder, die über mehr als 200 km als Grenzfluss zwischen Deutschland und Polen verläuft, mündet von polnischem Gebiet in die Ostsee.

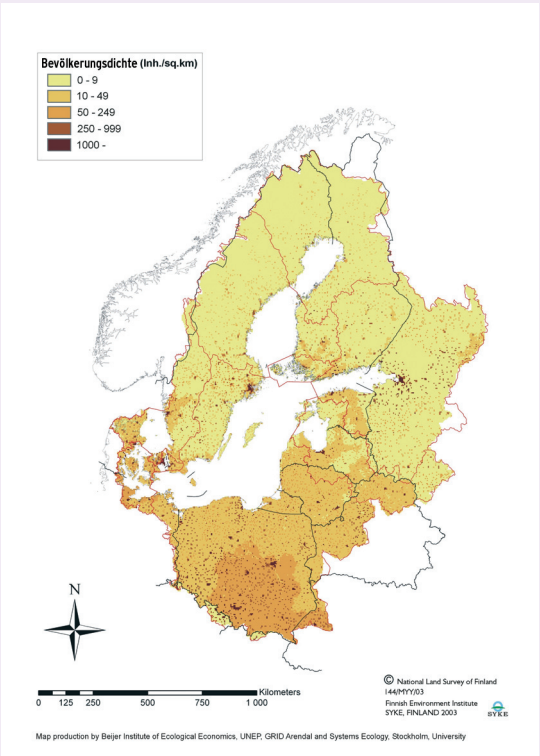
Tab. VI 3.2.1-2: *Flusseinzugsgebiete der sieben größten Ostseezuflüsse*

Fluss / Land	Neva	Weichsel	Nemunas	Daugava	Oder	Göta älv	Kemijoki	Gesamt
Langjähriger mittlerer Abfluss der sieben größten Ostseezuflüsse								
in m^3/s	2 488	1 081	664	637	574	572	553	6 569
Periode	1859–1988	1951–1990	1811–1995	1881–1914; 1924–2000	1951–1990	1961–1990	1961–1990	–
Länge der sieben größten Ostseezuflüsse								
in km	74[1)]	1 047	937	1 020	854	90[2)]	600	–
Einzugsgebietder Vertragsstaaten der Helsinki-Kommission								
Finnland	56 200						49 470	105 670
Russland	215 600		3 170	27 000			1 660	244 130
Estland				2360				2360
Lettland			90	23 700				23 840
Litauen			46 700	170				48 560
Polen		168 700	2 510		106 060			277 270
Deutschland					5 590			5 590
Dänemark								
Schweden						42 780		42 780
Einzugsgebietder Nicht-Vertragsstaaten der Helsinki-Kommission								
Weißrussland		12 600	45 450	2 5800				83 850
Ukraine		11 170						11 170
Tschechische Republik					7 190			7 190
Slowakische Republik		1 950						1 950
Norwegen						7 450		450
Gesamtes Ostsee-Einzugsgebiet								
Gesamt	**271 800**	**194 420[3)]**	**97 920**	**84 170**	**118 840**	**50 230**	**51 130**	**868 510**

[1)] Länge der Neva bis zum Ladogasee
[2)] Länge der Göta älv bis zum See Vänern
[3)] ohne Delta

Quelle: *Helsinki-Kommission 2004*

Abb. VI 3.2.1-2: *Bevölkerungsdichte im Einzugsgebiet der Ostsee*



Quelle: *Helsinki-Kommission 2004*

Bei der Betrachtung der Landnutzung im Ostsee-Einzugsgebiet wird ersichtlich, dass 60–70 % dieser Flächen in Deutschland, Dänemark und Polen landwirtschaftlich genutzt werden. In Estland, Lettland und Litauen liegt dieser Anteil bei nur 30–50 %, während Schweden, Finnland und Russland nur etwa 10 % dieser Flächen landwirtschaftlich nutzen. Zwischen 66 und 90 % der Ostsee-Einzugsgebietsflächen in Finnland, Russland, Schweden und Estland sind Wald, Sümpfe und Wasserflächen. Dieser Anteil beträgt in Polen, Lettland und Litauen ca. 30–50 % und sinkt in Dänemark und Deutschland auf 20–25 % ab (Tab. VI 3.2.1-3 und Abb. VI 3.2.1-3).

VI 3.2.2 Emissionen in die Oberflächengewässer

Emissionen in die Oberflächengewässer im Ostsee-Einzugsgebiet der Anliegerstaaten

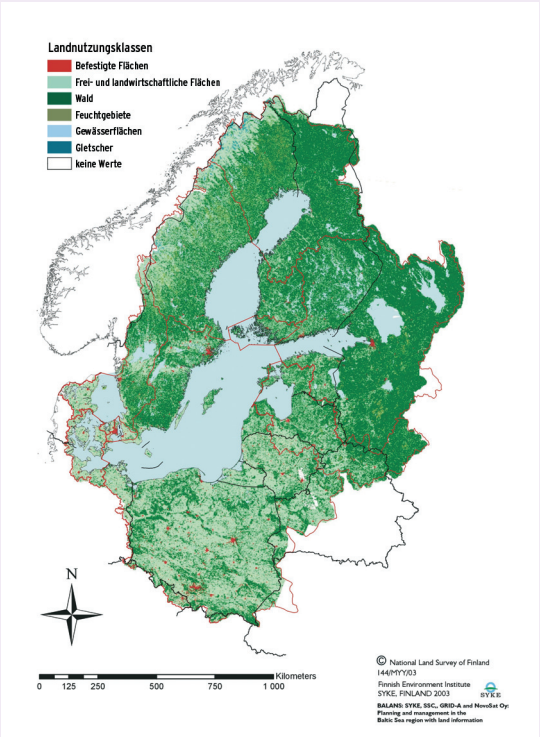
Die Stickstoff- und Phosphoreinträge über die Festlandsabflüsse und die Atmosphäre stellen die Hauptquellen der Nährstoffbelastung und der damit verbundenen Eutrophierung der Ostsee dar. Dabei spielen die Einleitung von Abwasser aus den Kommunen und der Industrie vor allem vom Gebiet der ost-

Tab. VI 3.2.1-3: *Landnutzung im Ostsee-Einzugsgebiet in %*

Vertragsstaaten / Landnutzung	Däne-mark	Estland	Finnland	Deutsch-land	Lettland	Litauen	Polen	Russland	Schwe-den
Befestigte Flächen	14	3	2	4	2	5	6	2	3
Wald (einschl.Felsen)	16	44	51	15	44	31	29	55	70
Landwirtschaftliche Fläche	66	30	7	72	39	54	60	12	6
Gewässerflächen (Seen)	1	5	10	4	1	4	3	17	8
Sümpfe, Feuchtgebiete	1	17	27	–	5	2	–	13	12
Anderes	2	1	3	5	9	4	2	1	1

Quelle: *Helsinki-Kommission 2004*

Abb. VI 3.2.1-3: *Verteilung der Landnutzung im Einzugsgebiet der Ostsee*



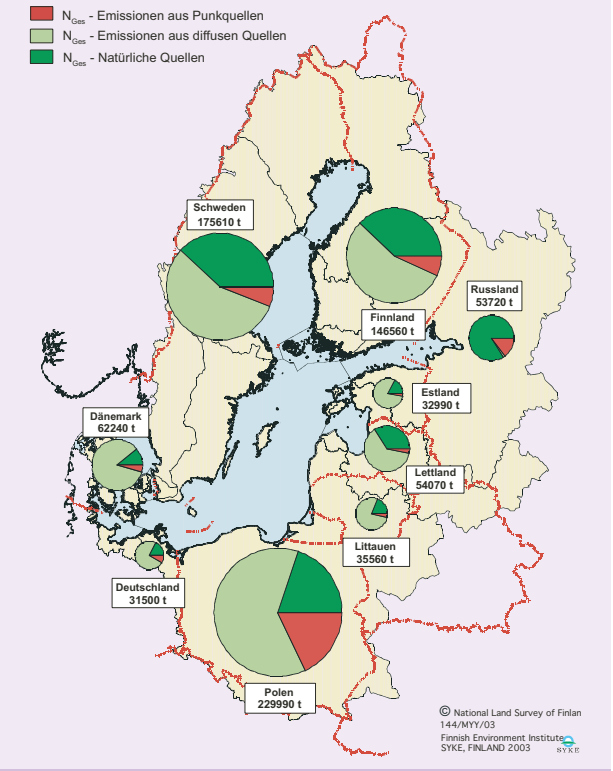
Quelle: *Helsinki-Kommission 2004*

europäischen Länder sowie die intensive landwirtschaftliche Nutzung vor allem in den westeuropäischen Ländern aber auch in den Baltischen Staaten und Polen eine entscheidende Rolle.

Im Jahr 2000 hat die Helsinki Kommission erstmalig innerhalb der „Fourth Baltic Sea Pollution Load Compilation – PLC-4" eine Bilanzierung der Nährstoffemissionen aus punktuellen und diffusen Quellen in die Oberflächengewässer im gesamten Ostsee-Einzugsgebiet der HELCOM-Vertragsstaaten durchgeführt. Dabei wurden die Emissionen aus Punktquellen in die Herkunftsbereiche industrielle Direkteinleiter, kommunale Kläranlagen und Fischfarmanlagen unterteilt. Die Differenzierung der diffusen Quellen nach der PLC-4 Richtlinien in die sechs diffusen Eintragspfade: atmosphärische Deposition, Erosion, Abschwemmung, Grundwasser, Dränagen und urbane Flächen sowie die natürliche Hintergrundfracht erfolgte von der Mehrzahl der Vertragsstaaten nicht auf Grund von methodischen Problemen. Somit werden die Emissionen aus diffusen Quellen nur in ihrer Summe dargestellt. Ein solches Emissionsinventar im gesamten Ostsee-Einzugsgebiet ist notwendig, um Aussagen darüber treffen zu können, ob die bei der Ministerkonferenz aller Ostseeanliegerstaaten in Rønneby 1988 aufgestellten Reduktionsziele der Nähr- und Schadstoffeinträge in der Größenordnung von 50 % erfüllt wurden, d.h. ob eingeleitete Maßnahmen zur Reduzierung von Schadstoffeinträgen an der Quelle erfolgreich waren und welche Maßnahmen zukünftig zur Erreichung des Ziels für Stickstoff getroffen werden müssen.

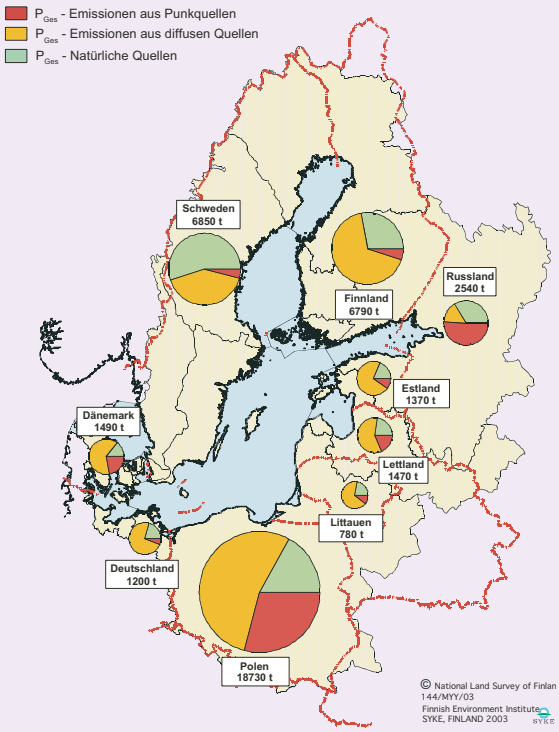
Nach dem PLC-4 Bericht betrugen die Nährstoffemissionen in die Oberflächengewässer im Ostsee-Einzugsgebiet der HELCOM-Vertragsstaaten im Jahr 2000 822 000 t/a Stickstoff (Abb. VI 3.2.2-1) und

Abb. VI 3.2.2-1: *Stickstoffemissionen aus Punkt- und diffusen Quellen in die Oberflächengewässer im Ostsee-Einzugsgebiet der HELCOM-Vertragsstaaten im Jahr 2000 (in t)*



Quelle: *Helsinki-Kommission 2004*

Abb. VI 3.2.2-2: *Phosphoremissionen aus Punkt- und diffusen Quellen in die Oberflächengewässer im Ostsee-Einzugsgebiet der HELCOM-Vertragsstaaten im Jahr 2000 (in t)*



Quelle: *Helsinki-Kommission 2004*

41 200 t/a Phosphor (Abb. VI 3.2.2-2). Der Hauptteil der Stickstoff- (59 %) und Phosphoremissionen (54 %) stammt aus diffusen Quellen, vorwiegend aus landwirtschaftlich genutzten Flächen, so dass zur Senkung der Nährstoffemissionen in die Oberflächengewässer im Ostsee-Einzugsgebiet wirksam Maßnahmen im Bereich der Landwirtschaft zu ergreifen sind. Die natürliche Hintergrundfracht umfasst einen Anteil von 32 % für Stickstoff, die restlichen 10 % der Stickstoffemissionen werden durch Punktquellen im Ostsee-Einzugsgebiet verursacht. Für Phosphor liegt der Anteil der natürlichen Hintergrundfracht bei 27 % und der Anteil der Punktquellen bei 20 %. Bei Betrachtung der Anteile der diffusen Quellen aus den Anrainerstaaten fällt auf, dass dieser in Dänemark (87 %), Estland (74 %) und Litauen (73 %) für Stickstoff und in Dänemark (65 %), Polen (63 %) und Deutschland (60 %) für Phosphor am höchsten ist. Obwohl die Punktquellen im allgemeinen den geringsten Anteil der Emissionen in die Oberflächengewässer darstellen, betragen sie jedoch in Polen und Russland zwischen 14 % und 18 % für Stickstoff und zwischen 19 % und 29 % in Dänemark, Lettland und Polen für Phosphor. In Russland kommen ungefähr die Hälfte der Phosphoreinleitungen aus Industrie und Kommunen. Daraus wird ersichtlich, dass vor allem in den baltischen Staaten, Polen und Russland Maßnahmen im Bereich der Punktquellen ein wirksames Instrument zur Reduzierung der Nährstoffemissionen in die Oberflächengewässer im Ostsee-Einzugsgebiet wären.

Emissionen in die Oberflächengewässer im deutschen Ostsee-Einzugsgebiet

Nährstoffe

Die Hauptquellen der Nährstoffeinträge in die Ostsee sind die Landwirtschaft, kommunale Kläranlagen, Kraftwerke, Verkehr und Industriebetriebe. Ungefähr 95 % der in die Atmosphäre emittierten NO_x-Verbindungen werden durch den Verkehr und Kraftwerke einschließlich industrieller Feuerungsanlagen verursacht. Hinzu kommen NH_3-Emissionen aus der Landwirtschaft. Demgegenüber ist der Anteil von industriellen Abwassereinleitungen relativ gering, da sich im deutschen Ostsee-Einzugsgebiet nur kleinere Industriestandorte befinden und in den neuen Ländern die Industrie nach 1989 drastisch zurückgegangen ist.

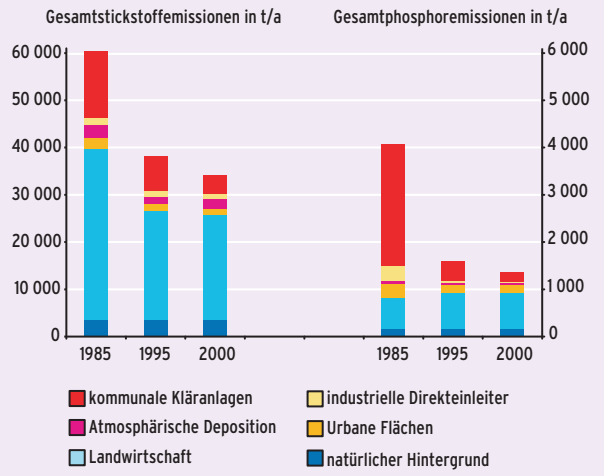
Für das deutsche Ostsee-Einzugsgebiet wurden die Nährstoffemissionen aus punktuellen und diffusen Eintragsquellen von 1983 bis 1987, 1993 bis 1997 und 1998 bis 2000 quantifiziert, wobei diese Zeiträume aus Gründen der Vereinfachung nachfolgend mit 1985, 1995 und 2000 angegeben werden. Die punktuellen Einleitungen der kommunalen Kläranlagen und der industriellen Direkteinleiter sowie die sechs diffusen Eintragspfade über atmosphärische Deposition, Erosion, Abschwemmung, Grundwasser, Dränagen und urbane Flächen wurden einzeln quantifiziert. Die Emissionen in die Oberflächengewässer im deutschen Ostsee-Einzugsgebiet lagen 1985 bei 60 300 t/a Stickstoff und 4 070 t/a Phosphor, 2000 bei 34 120 t/a Stickstoff und 1 370 t/a Phosphor. Die Stickstoff- und Phosphoremissionen in die Oberflächengewässer des deutschen Ostsee-Einzugsgebietes sind 2000 gegenüber dem Vergleichsjahr 1985 damit um 43 % Stickstoff und 66 % Phosphor zurückgegangen. Die Bilanzierung der Nährstoffemissionen in die Oberflächengewässer im deutschen Ostsee-Einzugsgebiet zeigt, dass die Reduktionsziele (Verringerung um jeweils 50 %) für Phosphor erreicht, jedoch für Stickstoff leicht verfehlt wurden.

Die Verringerung der Stickstoffemissionen um ca. 43 % konnte hauptsächlich durch den starken Rückgang der Stickstoffemissionen aus Punktquellen in der Größenordnung von 67 % erreicht werden. Demgegenüber ist für die Stickstoffemissionen aus diffusen Quellen eine Verminderung um ca. 35 % zu verzeichnen, wobei der Eintrag über die Landwirtschaft mit 65 % die entscheidende Rolle in 2000 spielt. Bei den landwirtschaftlichen Einträgen in 2000 sind die Dränagen und das Grundwasser mit jeweils 37 % die dominierenden diffusen Eintrags-

pfade. Der Anteil der Stickstoffemissionen aus Punktquellen an den Gesamtstickstoffemissionen beträgt nur noch ca. 15 %. Die Stickstoffeinträge über die Eintragspfade Erosion, Abschwemmungen aus vorwiegend landwirtschaftlichen Flächen und atmosphärische Deposition tragen zu den gesamten Einträgen mit insgesamt rund 10 % nur in geringem Maße bei.

Die Reduzierung der Phosphoremissionen um ca. 66 % ist ebenfalls vorwiegend auf die erzielte Verminderung der Emissionen aus Punktquellen mit 92 % zurückzuführen. Die Phosphoremissionen aus diffusen Quellen sind nur um 5 % zurückgegangen; dies ergab sich vor allem aus der Verminderung der Phosphoreinträge aus dem Abfluss von befestigten Flächen (45 %) und der atmosphärischen Deposition (40 %) bei gleichzeitig erheblichem Anstieg der Einträge aus Abschwemmungen von vorwiegend landwirtschaftlichen Flächen (+ 75 %). Auf Grund der enormen Verminderung der Phosphoremissionen aus Punktquellen in den deutschen Flusseinzugsgebieten stellen diese 2000 gegenüber 1985 nicht mehr den dominierenden Eintragspfad dar. 2000 betrugen die Phosphoremissionen aus diffusen Quellen 82 % der gesamten Phosphoremissionen, woran die Landwirtschaft einen Anteil von ca. 55 % hat. Die durch landwirtschaftliche Einträge verursachten Phosphoremissionen über das Grundwasser oder Erosion stellen mit ca. 22 % bzw. 34 % die höchsten Eintragsquellen dar (Abb. VI 3.2.2-3).

Abb. VI 3.2.2-3: *Stickstoff- und Phosphoremissionen aus dem deutschen Einzugsgebiet der Ostsee*

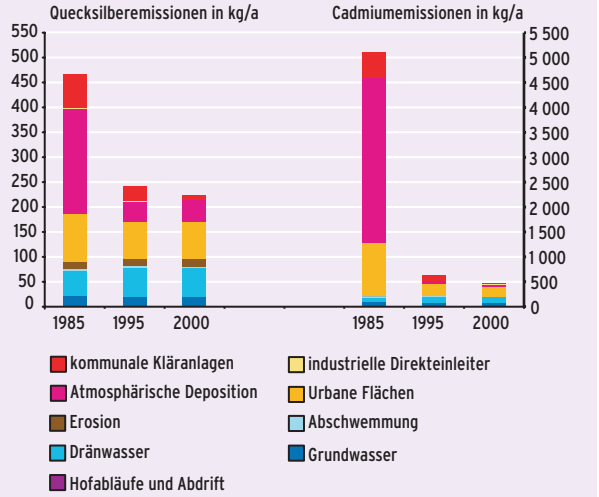


Quelle: *Umweltbundesamt 2003*

Schwermetalle und Lindan

Die Schwermetall- und Lindanemissionen in die Oberflächengewässer im deutschen Ostsee-Einzugsgebiet sind zwischen 1985 und 2000 stark zurückgegangen. Bei einigen Schwermetallen wie Cadmium (90 %), Quecksilber (52 %), Blei (70 %), Chrom (69 %) und dem Metalloid Arsen (68 %) wurde die von der Helsinki-Kommission geforderte Halbierung der Einträge in die Ostsee erreicht oder überschritten. Ausnahmen bilden Zink (19 %), Kupfer (29 %) und Nickel (41 %). Bei Lindan konnte eine Reduzierung um 78 % erreicht werden. Die Reduzierungen sind vor allem auf die drastische Reduzierung der industriellen Direkteinträge von 60 % für Blei und bis zu 95 % für Quecksilber (Abb. VI 3.2.2–4) zurückzuführen. Ei-

Abb. VI 3.2.2–4: *Quecksilber- und Cadmiumemissionen aus Punkt- und diffusen Quellen im deutschen Einzugsgebiet der Ostsee*



Quelle: *Umweltbundesamt 2003*

nen entscheidenden Beitrag zu dieser Umweltentlastung haben Maßnahmen im Bereich der Industrie auf Grund verschärfter gesetzlicher Anforderungen geleistet, aber vor allem auch der seit 1990 eingetretene Rückgang industrieller Aktivitäten im deutschen Odereinzugsgebiet. Im Jahr 2000 spielten industrielle Direkteinleitungen nur noch eine untergeordnete Rolle. Die Bedeutung der Einleitungen aus kommunalen Kläranlagen war zwar nach wie vor hoch, jedoch wurden im Jahre 2000 die Gewässerbelastungen durch diffuse Quellen dominiert. Die wichtigsten Eintragspfade waren dabei Kanalisationen und nicht angeschlossene Einwohner, die Erosion und der Grundwasserzufluss.

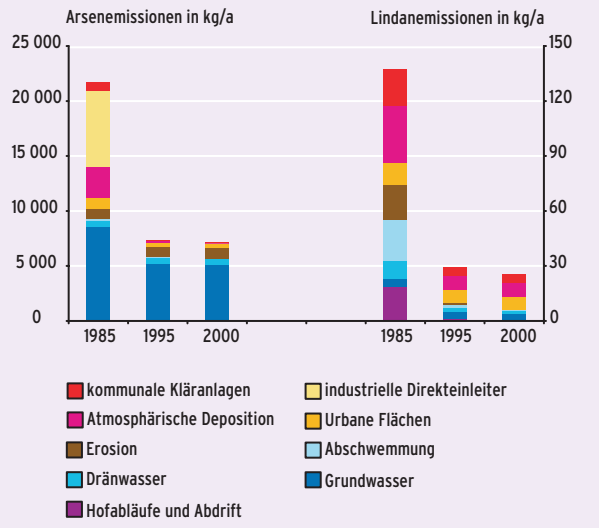
Ein wesentlicher Schwermetalleintrag in die Oberflächengewässer stammt aus urbanen Flächen, zu denen Einträge aus Misch- und Trennsystemen gehören. Diese Mischwasserentlastungen und Niederschlagsabflüsse aus Trennsystemen verursachen 10 – 40 % der gesamten Schwermetallemissionen. Dabei werden besonders hohe Anteile bei Zink, Blei und Kupfer erreicht. Da in den Mischsystemen ein nicht unbedeutender Anteil des Niederschlagsabflusses zur Kläranlage weitergeleitet wird, ergibt

sich bezogen auf Schwermetalle eine geringere Gewässerbelastung als beim Trennsystem. Durch Erosion werden vor allem die Metalle Chrom und Blei in die Gewässer eingetragen. Bei Arsen (45 %) und Nickel (54 %) überwiegen die geogenen Emissionen (Grundwasserpfad). Signifikante Belastungsunterschiede bestehen zwischen den einzelnen Flussgebieten wegen der jeweiligen Landnutzung und klimatischer Faktoren.

Der 78 %-ige Rückgang der Lindanemissionen in die Oberflächengewässer im deutschen Ostsee-Einzugsgebiet von 1985 bis 2000 hängt vor allem damit zusammen, dass die Lindananwendung in Deutschland seit der Mitte der 80er Jahre stark eingeschränkt wurde, und Lindan seit 1997 als Pflanzenschutzmittel nicht mehr zugelassen ist. Da bereits in der Umwelt befindliches Lindan nur sehr langsam abgebaut wird, ist es nach wie vor in der Atmosphäre, im Boden und im Wasser zu finden und wurde auch deshalb im Jahr 2000 noch in die Oberflächengewässer eingetragen.

1985 wurden die kommunalen Kläranlagen als wichtigster Eintragspfad identifiziert, jedoch sind die Emissionen seit 1985 um 52 % infolge der stark reduzierten Anwendung von Lindan und den geringeren Konzentrationen im Niederschlagsabfluss von befestigten Flächen zurückgegangen (Abb. VI 3.2.2-5). Ein weiterer wichtiger Eintragspfad im

Abb. VI 3.2.2-5: *Arsen- und Lindanemissionen aus Punkt- und diffusen Quellen im deutschen Einzugsgebiet der Ostsee*



Quelle: *Umweltbundesamt 2003*

Bezugsjahr 1985 war die Abschwemmung von unbefestigten Flächen mit 20 %, so dass im Oder- und Ostseeküsteneinzugsgebiet wegen der höheren Applikationsmenge in der ehemaligen DDR der größte Frachtanteil aus der Abschwemmung von Lindan resultierte. In 2000 stellen die Emissionen aus urbanen Gebieten und die direkte atmosphärische Deposition auf die Gewässeroberfläche mit jeweils ca. 28 % die bedeutendsten diffusen Eintragspfade dar. Infolge der verringerten Gesamtemissionen stieg der Anteil der Einträge aus dem Grundwasserpfad und macht im Jahr 2000 15 % aus. Die Erosion verursacht wegen der geringen Sorptionsneigung von Lindan nur ca. 1 % der gesamten Lindanemissionen.

VI 3.2.3 Flusseinträge und direkte Einträge

Flusseinträge und direkte Einträge der Anliegerstaaten in die Ostsee

Seit 1980 werden von der Helsinki-Kommission periodisch alle fünf Jahre komplexe Zustandseinschätzungen für die Ostsee (Periodic Assessment of the State of the Environment of the Baltic Sea) sowie Zusammenstellungen über die Nähr- und Schadstoffeinträge in die Ostsee (Baltic Sea Pollution Load Compilation) vorgenommen.

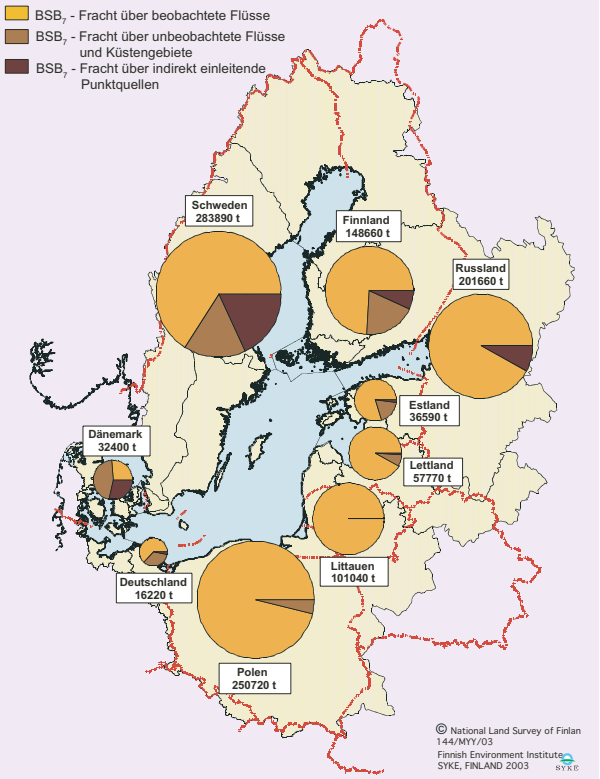
So erfolgten im Rahmen der „Fourth Baltic Sea Pollution Load Compilation - PLC-4“ Schätzungen der Einträge an organischen Substanzen, Nährstoffen und Schwermetallen über die in die Ostsee einmündenden Flüsse, die nicht überwachten Küsteneinzugsgebiete und direkten Abwassereinleitungen. Im Vergleich zu den Erhebungen 1987, 1990 und 1995 liefert die neue Erhebung für das Jahr 2000 zuverlässigere und umfassende Datensätze, die einen Überblick über die Schadstoffeinträge in die Ostsee erlauben.

Der gesamte Zufluss aus Flüssen, nicht überwachten Küsteneinzugsgebieten und direkten Punktquelleneinleitungen betrug 584 200 Mio. m^3/a im Jahr 2000, das entspricht einem flächenspezifischen Abfluss von 11 l/(s km^2). Davon stammen ca. 91 % allein aus den Ostseezuflüssen, ca. 8 % aus den nicht überwachten Küsteneinzugsgebieten und weniger als 1 % aus direkten Einleitungen kommunaler Kläranlagen und von Industriebetrieben. Die Flusseinträge werden als Immissionen an der letzten Flussmessstelle gemessen, zu denen die Einträge aus nicht überwachten Küsteneinzugsgebieten sowie direkte Einträge aus Punktquellen in die Küstengewässer addiert werden.

Im Jahr 2000 wurden insgesamt 1 130 000 t BSB_7 (Biochemischer Sauerstoffbedarf von Mikroorganismen beim Abbau organischer Substanzen innerhalb von sieben Tagen), 745 000 t Stickstoff (Gesamt-N) und 34 600 t Phosphor (Gesamt-P) in die Ostsee eingetragen. Das entspricht einem flächenspezifischen Eintrag von 680 kg/km^2 BSB_7, 440 kg/km^2 Stickstoff

und 21 kg P/km^2 Phosphor. Davon stammen ca. 82 % der BSB_7- und 77 % der Stickstoff- und Phosphorfracht aus den Ostseezuflüssen. Der Anteil von Schadstofffrachten aus unbeobachteten Einzugsgebieten liegt bei 10-17 % und der Anteil aus kommunalen Kläranlagen und Industriebetrieben, die direkt in die Ostsee entwässern, liegt unterhalb 10 %. Die Anteile der einzelnen Vertragsstaaten am Schadstoffeintrag von BSB_7, Gesamt-N und Gesamt-P sind in den Abbildungen VI 3.2.3-1, VI 3.2.3-2 und VI 3.2.3-3 dargestellt.

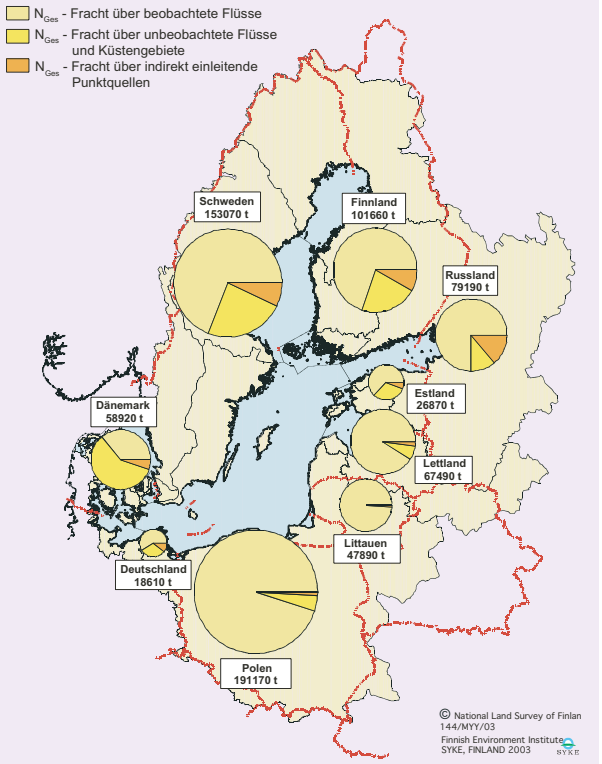
Abb. VI 3.2.3-1: *1 BSB_7-Eintrag über die in die Ostsee einmündenden Flüsse, unbeobachteten Küsteneinzugsgebiete und über direkt in die Ostsee einleitende Punktquellen von den HELCOM-Vertragsstaaten im Jahr 2000 (in t)*



Quelle: *Helsinki-Kommission 2004*

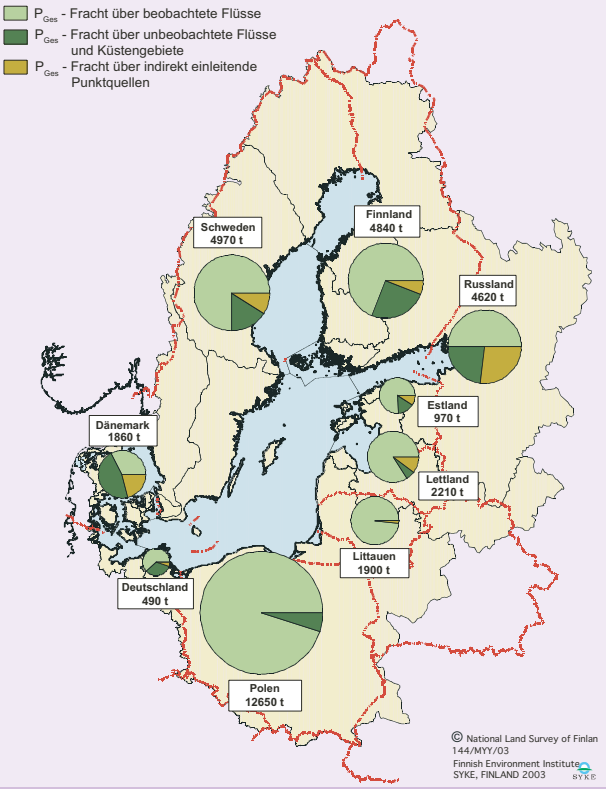
In die zentrale Ostsee, dem größten Teilgebiet mit den meisten Einleitern, wird der Hauptteil der Nährstoffe und organischen Substanzen eingetragen. Als besonders stark belastet müssen jedoch – im Größenvergleich und bezogen auf die Anzahl der Einleiter – der Golf von Riga und der Golf von Finnland bezeichnet werden, in denen es regelmäßig auf Grund von Sauerstoffmangel am Meeresboden zu Eutrophierungserscheinungen kommt. Hervorzuheben ist auch die Bottnische See hinsichtlich des Eintrags von organischen Substanzen über industrielles Abwasser. Im entsprechenden Teileinzugsgebiet der Ostsee sind die meisten zellstoffverarbeitenden Fabriken angesiedelt. Der höchste flächenspezifische Stickstoff- und Phosphoreintrag erfolgt in der Westli-

Abb.VI 3.2.3-2: *Stickstoffeintrag (Gesamt-N) über die in die Ostsee einmündenden Flüsse, unbeobachteten Küsteneinzugsgebiete und über direkt in die Ostsee einleitende Punktquellen von den HELCOM-Vertragsstaaten im Jahr 2000 (in t)*



Quelle: *Helsinki-Kommission 2004*

Abb.3.2.3-3: *Phosphoreintrag (Gesamt-P) über die in die Ostsee einmündenden Flüsse, unbeobachteten Küsteneinzugsgebiete und über direkt in die Ostsee einleitende Punktquellen von den HELCOM-Vertragsstaaten im Jahr 2000 (in t)*



Quelle: *Helsinki-Kommission 2004*

chen Ostsee und dem Kattegatt, Regionen in denen es im Sommer durch die Überdüngung des Meeres zu verstärktem Algenwachstum, Verschiebungen der Artenzusammensetzung und, bei geeigneten klimatischen wie hydrographischen Bedingungen (Auftreten geschichteter Wassermassen) zu Sauerstoffmangel am Meeresboden auf Grund des bakteriellen Abbaus abgestorbener Algen kommen kann. Dieser Mangel kann zum Massensterben von bodenlebenden Organismen und Fischen führen.

Neben Nährstoffen gelangen Schwermetalle und eine Vielzahl ökotoxikologisch relevanter organischer Substanzen über die Flüsse in die Ostsee, die in erheblichem Maße zur Kontamination der Ostsee beitragen. Bei der 2000er Erhebung war es möglich, einen Überblick über die in die Ostsee eingetragenen Schwermetalle zu erhalten. Der eigentliche Eintrag an Schwermetallen in die Ostsee dürfte im Jahr 2000 die in Tab. VI 3.2.3-1 dargestellten Werte deutlich überschreiten, da nicht von allen HELCOM-Vertragsstaaten vollständige Angaben zu allen geforderten Kategorien übermittelt wurden. Ursache dafür waren fehlende Analysentechnik und ungeeignete Messmethoden vor allem zur Messung geringer Schwermetallkonzentrationen. Nur jeweils vier HELCOM-Vertragsstaaten übermittelten Schwermetalleinträge aus den direkt in die Ostsee mündenden Punktquellen (Dänemark, Deutschland, Polen und Schweden) und aus nicht überwachten Küsteneinzugsgebieten (Dänemark, Deutschland, Finnland und Schweden). Obwohl die Flusseintragsdaten auch unvollständig sind und Schwermetalleinträge aus dem russischen Einzugsgebiet Kaliningrads vollständig fehlen, wird deutlich, dass die größten Mengen an Cadmium, Blei und Kupfer in den Finnischen Meerbusen eingetragen werden. Quecksilber gelangt dagegen über die großen Ostseezuflüsse überwiegend in die zentrale Ostsee.

So beträgt beispielsweise der Blei- und Kupfereintrag aus dem russischen Fluss Newa ca. 60 % bzw. 40 % des Gesamteintrags. Ca. 90 % des gesamten über Flüsse in die Ostsee eingetragenen Quecksilbers wird über die polnischen Zuflüsse Weichsel und Oder transportiert.

Flusseinträge und direkte Einträge über die deutschen Zuflüsse in die Ostsee

Die nationalen Flusseintragsdaten beziehen sich auf 31 Flüsse mit einer Einzugsgebietsfläche von 23 010 km^2 aus den Bundesländern Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein, wovon 16 170 km^2 beobachtetes Einzugsgebiet sind, d.h. durch Messungen in den Flüssen unterhalb der letzten Flussmessstelle gekennzeichnet sind. Die Einträge aus dem 6 800 km^2 großen nicht überwachten deutschen Ostsee-Einzugsgebiet werden durch Hochrechnung auf 100 % der Einzugsgebietsfläche unter Berücksichtigung der direkten Einleitungen aus kommunalen Kläranlagen und Industriebetrieben ermittelt (Tab. VI 3.2.3-2). Die Einträge aus dem deutschen Odereinzugsgebiet in Brandenburg und Sachsen (5 600 km^2) sind darin nicht enthalten, da die Oder auf polnischem Territorium in die Ostsee mündet. Insgesamt umfassen die von deutscher Seite in die Ostsee eingeleiteten Schadstofffrachten eine Größenordnung von 2 % gegenüber denen der anderen Ostseeanliegerstaaten.

In den deutschen Ostseezuflüssen erfolgen die Messungen zu Nähr- und Schadstoffen teilweise schon seit 1975, so dass diese Angaben bei der Bewertung der Daten berücksichtigt werden können. Im Jahr 1988 wurden über die deutschen Ostseezuflüsse 20 447 t Stickstoff und 1 108 t Phosphor in die Ostsee eingetragen. Im Vergleich dazu betrug die Phosphorfracht 2002 730 t. Die Stickstofffracht ist 2002 jedoch mit 31 600 t um ca. 10 000 höher als im Jahr 1988. Beim Vergleich der Flusseinträge über den

Tab. VI 3.2.3-1: *Schwermetalleinträge in die Ostsee über Flüsse, unbeobachtete Küsteneinzugsgebiete und direkt in die Ostsee einleitende Punktquellen in 2000 in t/a*

	Eintrag in die Ostsee über Flüsse			Eintrag in die Ostsee über direkt einleitende Punktquellen (Angaben nur von DK, D, PL, SE)			Gesamteintrag in die Ostsee
	Flüsse	unbeobachtete Küstengebiete[2)]	Gesamt[2)]	Kläranlagen[1)]	Industrie[1)]	Gesamt[1)]	
Cadmium	49	2,7	**51**	0,7	0,9	**1,6**	**53**
Quecksilber	45	1,1	**46**	0,5	0,1	**1**	**46**
Kupfer	924	125	**1 049**	15	5	**19**	**1 068**
Blei	434	38	**472**	3,3	2,5	**6**	**477**
Zink	2 446	493	**2 939**	70	49	**119**	**3 059**

[1)] Punktquelleneinträge nur aus Dänemark, Deutschland, Polen und Schweden

[2)] Einträge aus unbeobachteten Küstengebieten nur aus Dänemark, Deutschland, Finnland und Schweden

Quelle: *Helsinki-Kommission 2004*

Tab. VI 3.2.3-2: *Deutsche Stoffeinträge in die Ostsee über Flüsse und unbeobachtete Küsteneinzugsgebiete*

	1995	2000	2002
Abfluss			
Q in Mio m^3/a	4 551	3 548	5 877
Nährstoffe			
P_{total} in t/a	613	462	729
PO_4-P in t/a	276	229	351
N_{total} in t/a	23 988	16 607	31 619
NH_4-N in t/a	1 515	692	893
NO_2-N in t/a	245	132	256
NO_3-N in t/a	18 621	12 555	24 308
Schwermetalle			
Hg in kg/a	140	39	26
Cd in kg/a	204	114	229
Zn in kg/a	21 945	13 811	37 398
Cu in kg/a	13 659	4 020	12 705
Pb in kg/a	2 350	1 814	4 856
Ni in kg/a	2 988	4 583	7 366
Cr in kg/a	1 504	762	2 643
As in kg/a	2 108	890	7 625

Quelle: *Umweltbundesamt 2004 g*

Zeitraum von 1988 bis 2002 darf der steuernde Einfluss des Durchflusses nicht unberücksichtigt bleiben. In den Jahren 1994 und 2002 war aufgrund hohen Niederschlagsaufkommens der Durchfluss fast doppelt so hoch wie 1990, 1996 und 1997. Phosphor und Stickstoff zeigen ein ausgeprägtes durchflussabhängiges Verhalten. Führt ein erhöhter Durchfluss zur Abnahme der Phosphorkonzentration (Verdünnungseffekt), so verhält sich Stickstoff genau umgekehrt. Bei ergiebigen Niederschlägen erfolgt eine erhöhte Auswaschung und Abschwemmung von landwirtschaftlichen Flächen, die erhöhte Stickstoffeinträge sowie einen deutlichen Anstieg der Stickstoffkonzentrationen und -frachten zur Folge haben (Abb. VI 3.2.3-4).

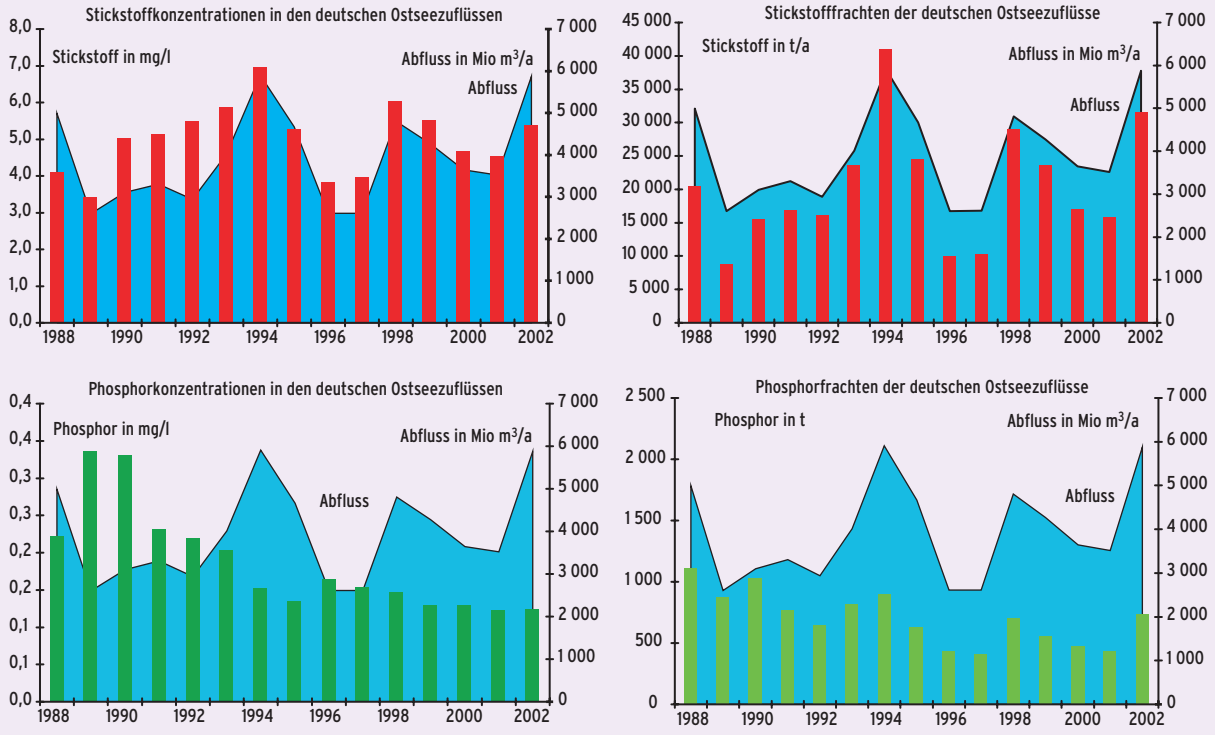
Somit ist ein direkter Vergleich der Nährstofffrachten der Jahre 1988 und 2002 nicht möglich. Ein Vergleich der Nährstofffrachten aus den Jahren 1988 und 2000, die ähnliche Abflussbedingungen aufweisen, unterstreicht jedoch, dass zwar für Phosphor, jedoch nicht für Stickstoff, die Emissionen aus dem deutschen Einzugsgebiet zurückgegangen sind. So spiegeln sich gegenwärtig die erheblichen Phosphorreduktionen an den Quellen auch in der Wasserqualität der deutschen Ostseezuflüsse wider. Bei Stickstoff ist noch kein abnehmender Trend – weder in den Flussfrachten noch in den Konzentrationen – erkennbar.

Demgegenüber ist nur ein abnehmender Trend der Quecksilber- und Kupfereinträge in die Ostsee vom deutschen Ostsee-Einzugsgebiet zwischen 1995 und 2002 erkennbar. Die Einträge der anderen Schwermetalle sind zwischen 1995 und 2002 in der gleichen Größenordnung geblieben oder etwas angestiegen. Alle Schwermetallfrachten sind jedoch im Nassjahr 2002 auf Grund des erhöhten Abflusses erheblich höher als im Jahr 2001.

VI 3.2.4 Schadstoffeintrag aus der Atmosphäre

In den letzten 10 Jahren haben die Einträge der Spurenstoffe Blei (72 %), Cadmium (65 %) und Quecksilber (50 %) abgenommen (Tab. VI 3.2.4-1).

Abb. VI 3.2.3-4: *Nährstoffkonzentrationen und -frachten der deutschen Ostseezuflüsse*



Quelle: *Umweltbundesamt 2004 g*

Tab. VI 3.2.4-1: *Eintrag luftgetragener Schadstoffe in die Ostsee in t/a*

	Blei	Cadmium	Quecksilber
1991	628	26	6
1992	-	26	-
1993	703	29	-
1994	677	29	6
1995	577	25	6
1996	187	9	3
1997	185	10	3
1998	194	4	3
1999	170	7	3
2000	178	9	3

Quelle: *EMEP 2004*

Die Schwermetall- und Stickstoffeinträge sind aus diesbezüglich von EMEP für HELCOM erstellten Modellrechnungen entnommen.

Die Stickstoffeinträge waren seit 1990 zwischenzeitlich leicht gesunken, steigen aber wieder leicht an. Tendenziell stimmt dies mit der Emissionsentwicklung der HELCOM-Staaten überein (Tab. VI 3.2.4-2).

Abb. VI 3.2.4-2: *Gesamtstickstoffeinträge in die Ostsee in kt/a*

	NO_x	NH_y	N-total
1990	175	102	276
1991	158	142	300
1992	146	134	280
1993	140	133	273
1994	137	131	268
1995	128	120	248
1996	134	95	229
1997	129	86	215
1998	115	110	225
1999*)	–	–	–
2000	180	113	293

*) liegt noch nicht vor

Quelle: *EMEP 2004*

Die Einträge der Schwermetalle nahmen seit 1990 für Blei um über 80 % und für Cadmium um 65 % ab. Für Quecksilber haben sich die Einträge in die Ostsee halbiert. Seit 1996 jedoch stagnieren Schwermetalleinträge oder sind nur gering rückläufig.

Die POP werden vorrangig über den Luftpfad in die Meere eingetragen. Wegen ihrer Toxizität und Neigung zur Bioakkumulation werden sie daher zunehmend durch neue Überwachungsprogramme kontrolliert. Die Messdaten dienen gleichzeitig der Validierung der Modelle zur Berechnung der POP-Einträge.

Die POP-Einträge nehmen seit 1994 an der Station Zingst stetig ab. Eine Abnahme der Einträge ist für α-HCH von 78 %, für γ-HCH von 75 % zu beobachten. Für HCB und Aldrin kann keine Aussage gemacht werden, da die Werte nahe der Nachweisgrenze gemessen wurden. Die Messwerte für BaP steigen von Beginn der Messungen bis 1998 um ca. 40 % an und nehmen seitdem ab (47 %). Das starke Schwanken der POP-Messdaten ist wahrscheinlich neben den ausgeprägten meteorologischen Schwankungen auch auf den 1998 vollzogenen Wechsel des Analysenlabors zurückzuführen (Tab. VI 3.2.4-3).

Tab. VI 3.2.4-3: *Jahresdepositionen ausgewählter POP für die Station Zingst in µg/m³*

	α-HCH	γ-HCH	HCB	Aldrin	Heptachlor	BaP
1993	0,65	4,33	0,235	1,566	0,118	–
1994	–	5,18	0,076	1,346	0,287	–
1995	0,78	3,00	0,111	0,060	0,117	1,76
1996	0,44	7,88	0,079	0,008	0,008	2,86
1997	0,57	8,85	0,067	0,009	0,021	2,52
1998	0,48	5,81	0,066	0,063	0,114	4,49
1999	0,26	2,66	0,006	0,006	0,002	1,64
2000	0,29	2,24	0,000	0,000	0,000	1,03
2001	0,29	1,75	0,096	0,006	0,002	1,00

Quelle: *Umweltbundesamt 2004 h*

VI 3.2.5 Schadstoffbelastung im Meerwasser

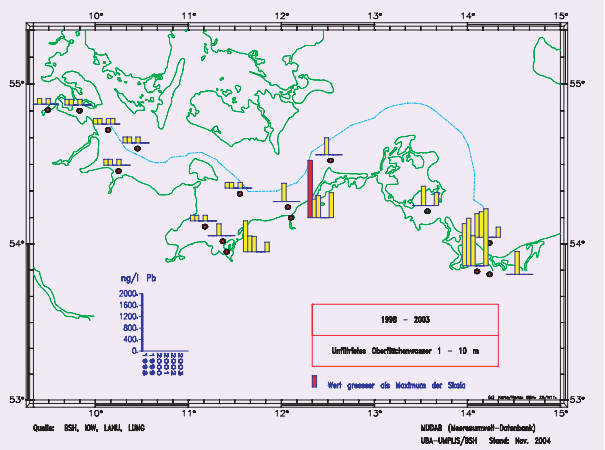
Im Bund/Länder-Messprogramm Ostsee werden eine Reihe gefährlicher Stoffe des Baltic Monitoring Programms von HELCOM regelmäßig auf der Hohen See überwacht. Gemäß der Wasserrahmenrichtlinie werden zukünftig 33 gefährliche Stoffe regelmäßig im Küstenwasser (Gesamtprobe aus gelösten und Schwebstoff-gebundenen Stoffen) untersucht. Für etliche dieser Stoffe liegen bereits Daten in der Meeresumweltdatenbank vor (Abb. VI 3.1.5-1). Da es bisher noch keine standardisierte Darstellung nach der Wasserrahmenrichtlinie gibt, werden hier sämtliche Messwerte im Küstenwasser (innerhalb der 12sm-Zone ohne Helgoland) dargestellt sowie der jährliche Mittelwert und mit den vorläufigen, von der Europäischen Kommission vorgeschlagenen Umweltqualitätsnomen (Jahresmittel der Umweltqualitätsnorm (AA-EQS) sowie maximal erlaubte Konzentration (MAC-EQS)) verglichen.

Schwermetalle

Im Bereich der westlichen Ostsee sind die regionalen Unterschiede der Schwermetallkonzentrationen im Wasser deutlich geringer ausgeprägt als in der Nordsee. Die mittleren Cadmium- und Kupferkonzentrationen in den Küstengewässern sind kaum höher als in der zentralen Ostsee. Die Quecksilber-, Blei- und Zink-Konzentrationen weisen in den Küstengewässern ähnlich wie in der Nordsee oft höhere Konzentrationen auf. Erhöhte Konzentrationen finden sich bei Wismar, der Warnowmündung und im Oderhaff. Insgesamt sind die Konzentrationen in

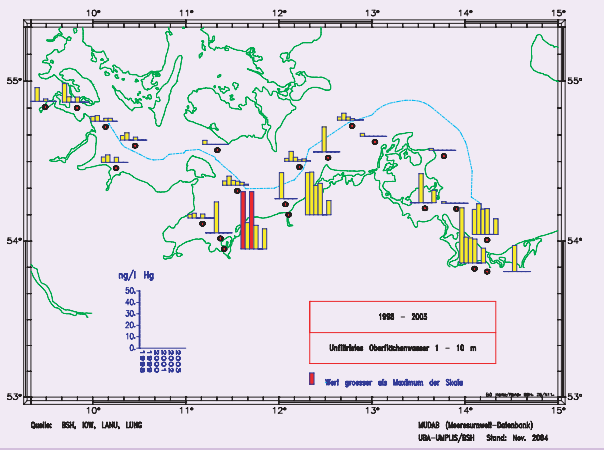
der Ostsee jedoch niedriger als in der Nordsee. Ein direkter Vergleich der Messwerte im Küstenbereich von Nord- und Ostsee ist wegen des hohen Schwebstoffanteils im küstennahen Nordseewasser nicht möglich. Zeitliche Veränderungen der Schwermetallkonzentrationen im Wasser sind wegen der hohen Variabilität, die auch durch wechselnde Salz- und Schwebstoffgehalte bedingt ist, schwer nachzuweisen (Abb. VI 3.2.5-1 und Abb. VI 3.2.5-2).

Abb. VI 3.2.5-1: *Bleikonzentration im Wasser der Ostsee*



Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

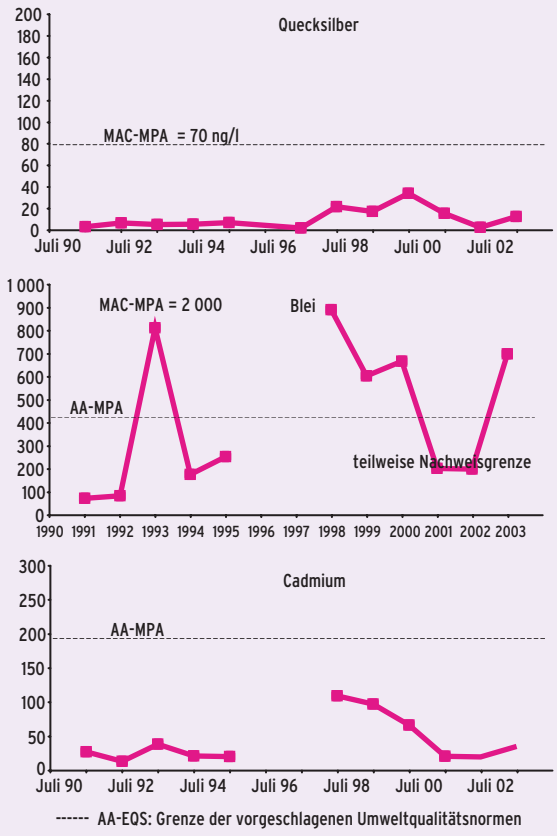
Abb. VI 3.2.5-2: *Quecksilberkonzentration im wasser der Ostsee*



Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

Zeitliche Trends der Schwermetalle unter den 33 prioritären Stoffen der Wasserrahmenrichtlinie zeigen für das Küstenwasser innerhalb der 12 Seemeilenzonen für Quecksilber, Cadmium, Blei und Nickel keinen klaren Trend der mittleren Konzentrationen (rote Linie innerhalb der Einzelmessungen). Mittlere Cadmium- und Nickelkonzentrationen liegen unter der vorgeschlagenen Umweltqualitätsnorm (AA-EQS), während sie für Blei darüber liegen. Für Quecksilber liegen die Konzentrationen unterhalb der maximal zulässigen Umweltqualitätsnorm (Abb. VI 3.2.5-3).

Abb. VI 3.2.5-3: *Zeitreihe der Jahresmittelwerte (ng/l) von Schwermetallen in unfiltriertem Wasser (0–10 m) der Ostsee (12 sm)*



Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

Organische Schadstoffe

Für die 33 prioritären Stoffe der Wasserrahmenrichtlinie liegen nicht für alle ausreichend Messungen im Küstenwasser vor. Folgende Stoffe werden im Küstenwasser der Ostsee in Konzentrationen kleiner als die vorgeschlagene Umweltqualitätsnorm der Wasserrahmenrichtlinie gemessen: Anthrazen, Benzo(a)Pyren, Benzo(b)Fluoranthen, Benzo(g,h,i)Perylen, Benzo(k)-Fluoranthen, Alpha-HCH, Beta-HCH und Indeno(1,2,4-cd)Pyren. Von weiteren Stoffen der Wasserrahmenrichtlinie liegen bisher zu wenige Messungen vor, um Aussagen zu machen (Abb. VI 3.2.5-4).

Die HCH-Isomere werden nur langsam über Bindung an Schwebstoffe und anschließende Sedimentation aus der Wassersäule entfernt, da sie gut wasserlöslich sind. Trotz der niedrigen Austauschrate zur Nordsee ist der Trend auch im Bereich der Hohen See der Ostsee rückläufig. Die Daten zeigen eine deutliche Abnahme der α-HCH-Konzentrationen auf ein Fünftel der Konzentrationen von 1975, was auf ein Verbot von technischem HCH Mitte der 70er Jahre zurückgeführt werden kann. Auch für Lindan lässt sich ein signifikanter Rückgang ab 1983 feststellen (Abb. VI 3.2.5-5, Abb. VI 3.2.5-6).

Abb. VI 3.2.5-4: *Zeitreihe der Jahresmittelwerte (ng/l) von organischen Schadstoffen in unfiltriertem Wasser (0–10) der Ostsee (12sm)*

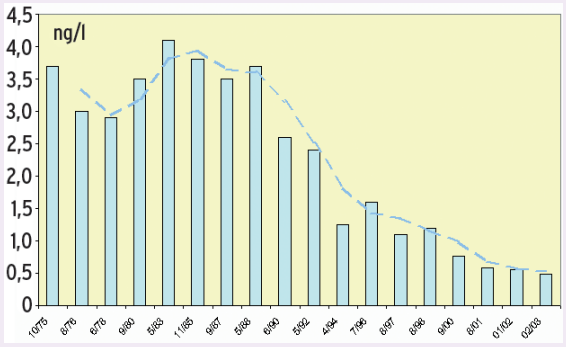


Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

Die räumliche Verteilung von Lindan, Hexachlorbenzol, Fluoranthen, Anthrazen und Naphthalin im deutschen Bereich der Ostsee lässt keine Belastungsschwerpunkte erkennen (Abb. VI 3.2.5-7).

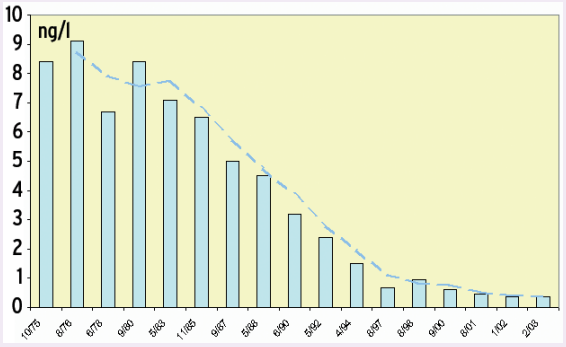
Ergebnisse eines Screeningvorhabens zeigen die Verteilung von Diuron und Isoproturon in der westlichen Ostsee (Abb. VI 3.2.5-8 und Abb. VI 3.2.5-9). Während die Verteilung in der offenen See relativ

Abb. VI 3.2.5-5: *γ-HCH im Wasser, Arkona See*



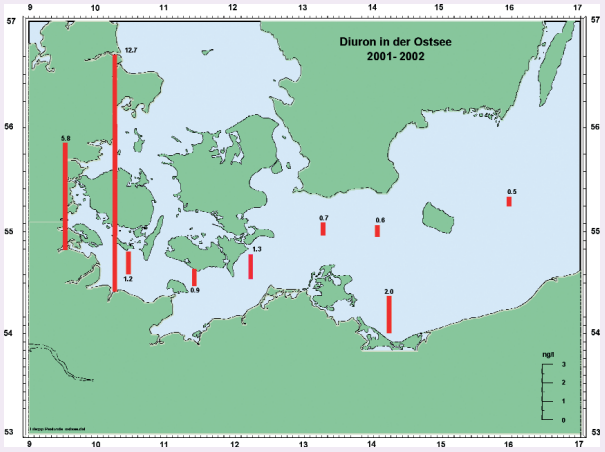
Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

Abb. VI 3.2.5-6: *α-HCH im Wasser, Arkona See*



Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

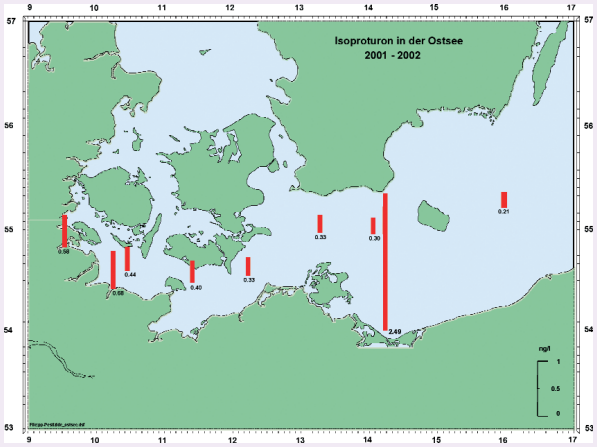
Abb. VI 3.2.5-8: *Verteilung von Diuron (ng/l) im Oberflächenwasser der westlichen Ostsee (5 m)*



Quelle: *Theobald, N. und Gerwinski, W., Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie 2004*

gleichmäßig ist, zeigen sich deutliche Unterschiede in den Küstengebieten. Die hohen Konzentrationen von Diuron an den westlichen Stationen sind wahrscheinlich auf den verstärkten Schiffsverkehr zurückzuführen und werden von hohen Irgarolkonzentrationen begleitet. Beide Verbindungen sind Bestandteil von Antifoulingfarben. Die Verteilung von Isoproturon und ähnlich die von 2,4-D, Terbutylazin und Atrazin zeigt, dass die Oder ein bedeutender Eintragspfad für diese Herbizide ist.

Abb. VI 3.2.5-9: *Verteilung von Isoproturon (ng/l) im Oberflächenwasser der westlichen Ostsee (5 m)*



Quelle: *Theobald, N. und Gerwinski, W., Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie 2004*

VI 3.2.6 Schadstoffbelastung im Sediment

Schwermetalle

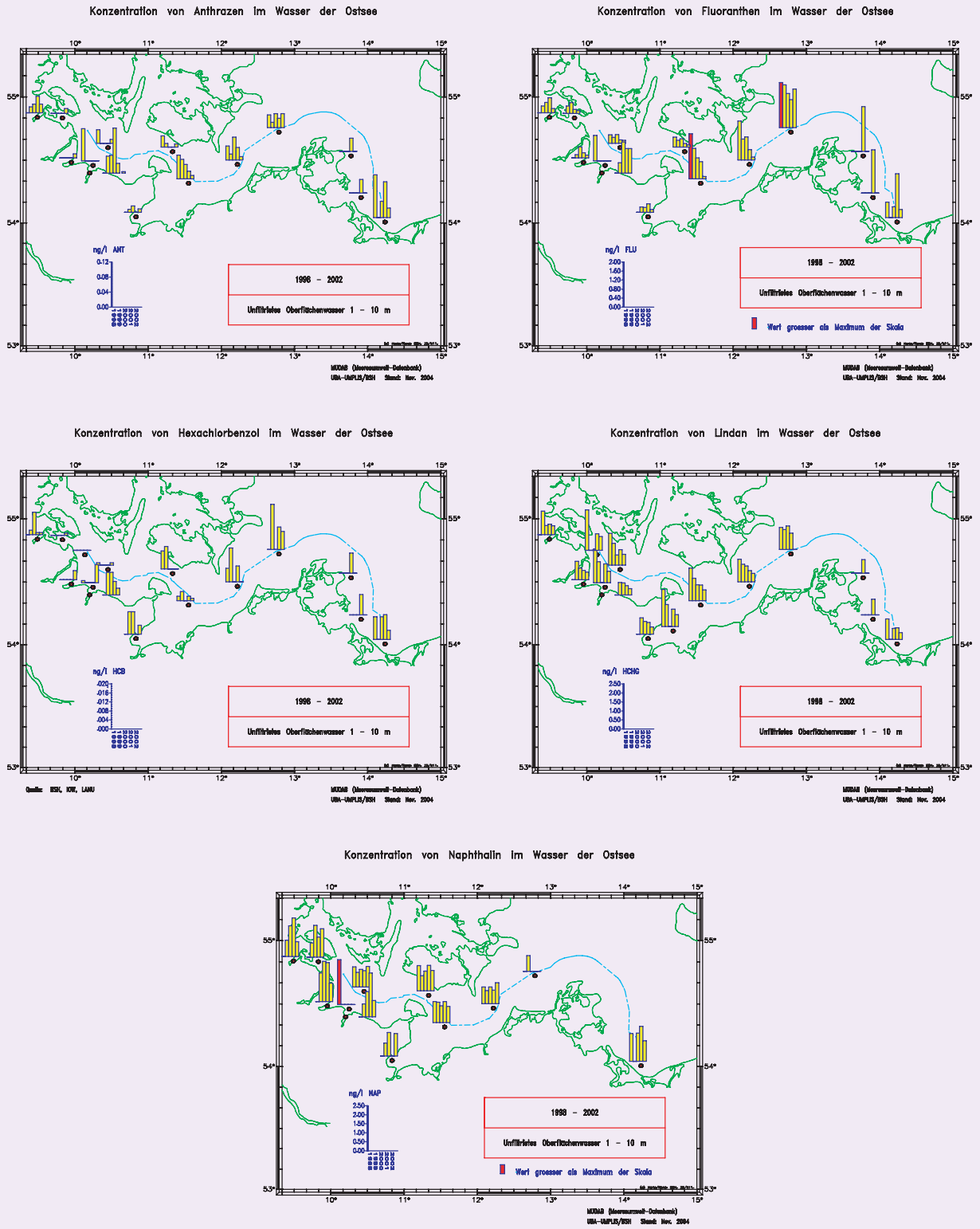
Die Gehalte an Cadmium, Quecksilber und Blei in der Ostsee liegen im Küstenbereich deutlich höher als in der zentralen Ostsee (Abb. VI 3.2.6-1 und Abb. VI 3.2.6-2). Während für Cadmium und Quecksilber die Gehalte in der zentralen Ostsee nahe den Hintergrundkonzentrationen (Hg:0,05 mg/kg, Cd: 0,25 mg/kg, Pb: 15 mg/kg in der 20 µm-Sedimentfraktion entsprechend UBA Forschungsprojekt [2] liegen, sind sie für Blei erhöht. Belastungsschwerpunkte (soweit Daten vorliegen) sind die Kieler und Lübecker Bucht sowie das Oderhaff. Die mit Abstand höchsten Cadmiumgehalte von bis zu 7,8 µg/kg Trockensubstanz (TS) wurden in den Haffsedimenten gemessen; die mittleren Gehalte waren dort etwa dreimal so hoch wie im Greifswalder Bodden.

Organische Schadstoffe

Daten für Belastungen mit organischen Schadstoffen im Sediment liegen für die Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns vor. Für die polyzyklischen chlorierten Kohlenwasserstoffe (PAK) liegen die Belastungsschwerpunkte im Bereich der Hafenstädte Rostock und Stralsund sowie im Einflussbereich der Oder. Deutlich erhöht sind auch die PAK-Gehalte in den Sedimenten der Mecklenburger Bucht, liegen sie doch im Mittel um mehr als das Doppelte über denen der Sedimente aus den Darß-Zingster und Rügenschen Bodden.

Die höchsten Gehalte an PAK wurden in der Unterwarnow gemessen. Im Mittel waren die Gehalte in den Sedimenten aus der Unterwarnow um das 10- bis 50-fache gegenüber den Gehalten der Sedimente aus den anderen Regionen angereichert. Sehr nied-

Abb. VI 3.2.5-7: *Konzentrationen organischen Schadstoffe im Wasser der Ostsee*

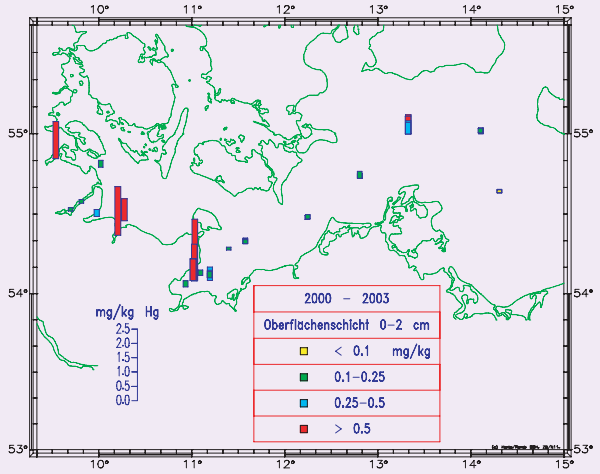


Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

rige PCB-Gehalte wurden in den Sedimenten aus den Darß-Zingster und Rügenschen Bodden bestimmt.

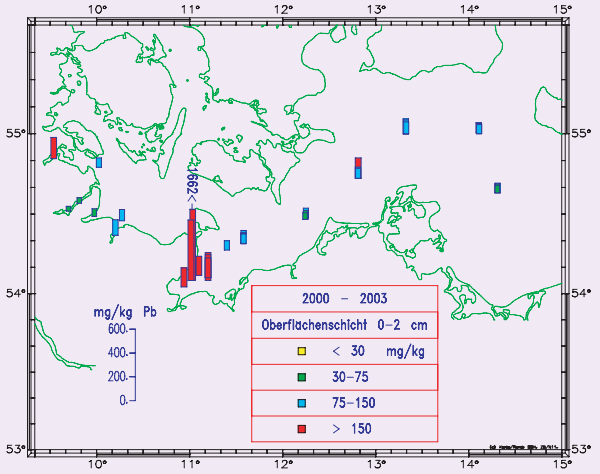
DDT und seine Metabolite kommen in der Summe noch in Konzentration vor, die um eine 10er Potenz über den Summenkonzentrationen des HCHs liegen. Für beide Substanzklassen wurden die höchsten Gehalte in der Unterwarnow gemessen. Relativ erhöht waren auch die Befunde aus dem Kleinen Haff, während die niedrigste Belastung wiederum für die Sedimente der Darß-Zingster und der Rügenschen Bodden angetroffen wurde. Für HCB ergab sich ein fast identisches Verteilungsmuster , mit der Ausnahme, dass die höchsten Gehalte in den Sedimenten des Haffs bestimmt wurden.

Abb. VI 3.2.6-1: *Quecksilberkonzentrationen in der Feinkornfraktion (< 20 µm) der Ostseesedimente*



Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004 a*

Abb. VI 3.2.6-2: *Bleikonzentration in der Feinkornfraktion (< 20 µm) der Ostseesedimente*



Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004 a*

Tab. VI 3.2.6-1: *Mittlere Gehalte organischer Schadstoffe in Schlicksedimenten aus Küstengewässern Mecklenburg-Vorpommerns im Zeitraum 2000–2002, alle Angaben in µg/kg TM*

Gewässer	n	PAK6	PAK16	PCB21	DDTs	HCHs	HCB	TBT
Mecklenburger Bucht	7	730	1 304	22	49,1	0,32	0,25	24
Wismar-Bucht inkl. Salzhaff	20	537	899	37,5	34,3	0,19	0,7	226
Unterwarnow	16	1 934	4 023	224	229	1,89	0,98	954
Darß-Zingster Bodden	20	395	678	5,3	31,1	0,16	0,15	18
Rügenscher Bodden	14	304	532	4,2	3,4	0,14	0,1	14
Strelasund	9	1 107	1 853	11,9	12,7	0,3	0,4	72
Greifswalder Bodden	14	417	771	12,2	41,3	0,3	0,18	72
Peenestrom	14	687	1 272	31,5	80,2	0,75	0,44	61
Kleines Haff	10	1 167	2 253	17,3	154	1,14	1,66	64

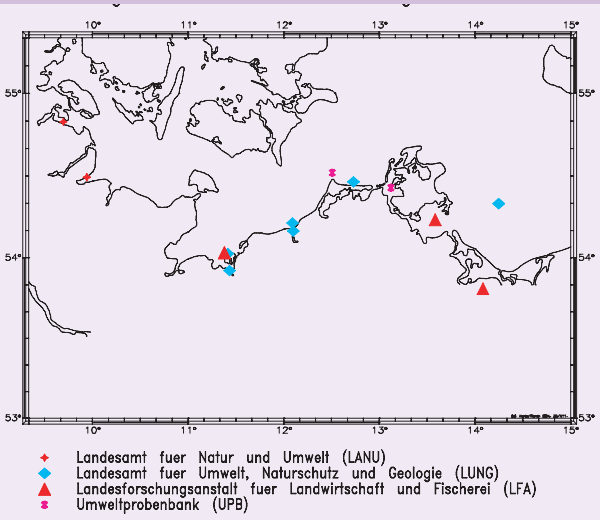
Quelle: *Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern 2004*

Die höchsten TBT-Belastungen an der Küste Mecklenburg-Vorpommerns wurden in der Unterwarnow gemessen, dem Gewässer mit der höchsten Schifffahrtsdichte. Generell sind hohe TBT-Befunde meist in Hafenschlicken oder aber in der Nähe von Häfen zu finden (Tab. VI 3.2.6-1).

VI 3.2.7 Schadstoffbelastung der Organismen

Im Bund/Länder-Messprogramm für die Meeresumwelt von Nord- und Ostsee (BLMP) werden Schadstoffe in Miesmuscheln, Fischen und Seevogeleiern untersucht (Abb. VI 3.2.7-1). Das Monitoringprogramm der Umweltprobenbank des Bundes wurde hierbei Anfang der 90er Jahre um Probenahmegebiete an der deutschen Ostseeküste erweitert. Seit 1992 werden Miesmuscheln (Mytilus edulis) und seit 1994 Aalmuttern (Zoarces viviparus) aus der vorpommerschen Boddenlandschaft (Darßer Ort) beprobt, Eier von Silbermöwen (Larus argentatus) werden seit 1991 von der Insel Heuwiese untersucht. Im Jahr 1997 fand keine Probenahme statt.

Abb. VI 3.2.7-1: *Stationsnetz Ostsee für gefährliche Stoffe in Organismen*

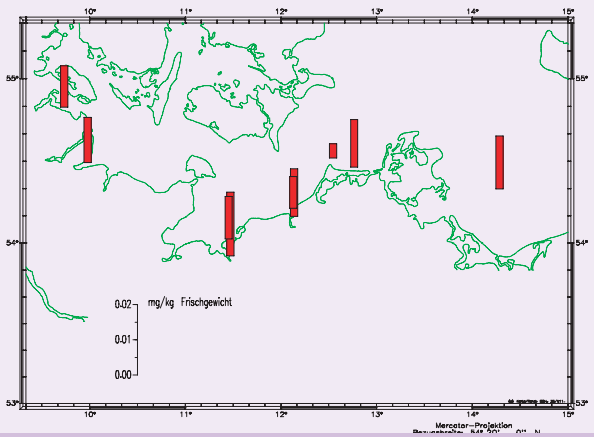


Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

Schwermetalle

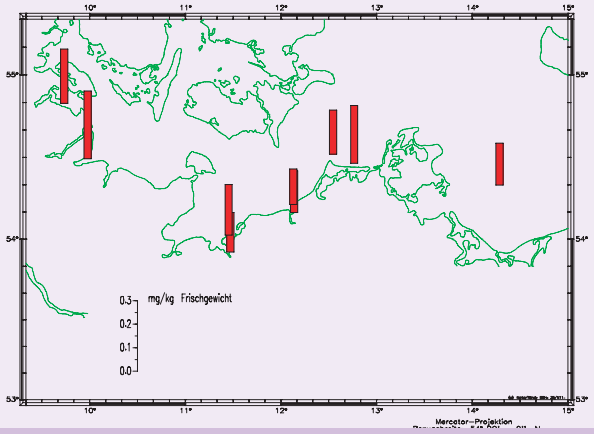
Die Belastung des hier untersuchten Ostseeküstenbereichs mit Quecksilber, Blei und Cadmium kann als gering bis mäßig eingestuft werden (Abb. VI 3.2.7-2, Abb. VI 3.2.7-3 und Abb. VI 3.2.7-4). Deutliche Belastungsschwerpunkte sind nicht zu erkennen. Im Vergleich zu den Organismen aus der Nordsee weisen Miesmuscheln des Probenahmejahres 2003 mit 3,1 ng/g Frischgewicht (FG) in etwa um den Faktor 7 niedrigere Quecksilberkonzentrationen auf. Die Kontamination der Muscheln von Darßer Ort mit Blei (0,1 µg/g FG) und mit Cadmium (0,07 µg/g FG) ist nahezu identisch mit der der Muscheln von Königshafen (Abb. VI 3.2.7-5 und Abb. VI 3.2.7-6). Für die drei hier betrachteten Schwermetalle zeichnet sich in den letzten Jahren ein Trend zur Abnahme der Konzentrationen in Miesmuscheln ab.

Abb. VI 3.2.7-2: *Quecksilberkonzentration in Muscheln Ostsee 2001*



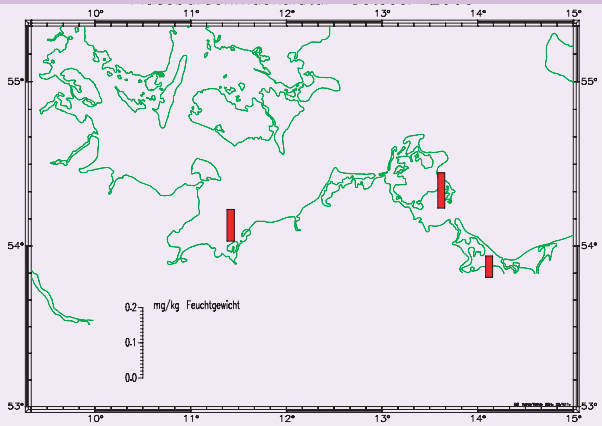
Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

Abb. VI 3.2.7-3: *Bleikonzentration in Muscheln Ostsee 2001*



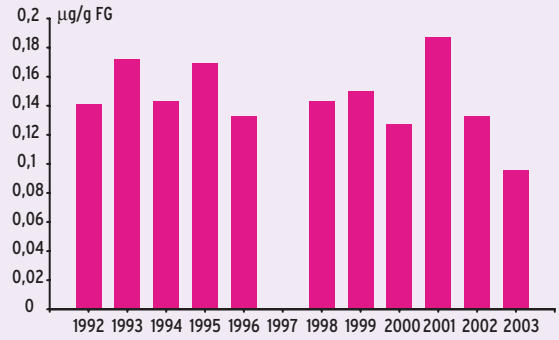
Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

Abb. VI 3.2.7-4: *Quecksilberkonzentration in Flussbarschmuskulatur Ostsee 2003*



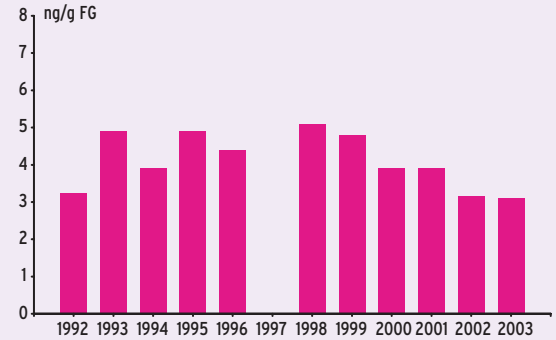
Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

Abb. VI 3.2.7-5: *Blei in Miesmuscheln (Darßer Ort)*



Quelle: *Umweltbundesamt 2004 d*

Abb. VI 3.2.7-6: *Quecksilber in Miesmuscheln (Darßer Ort)*

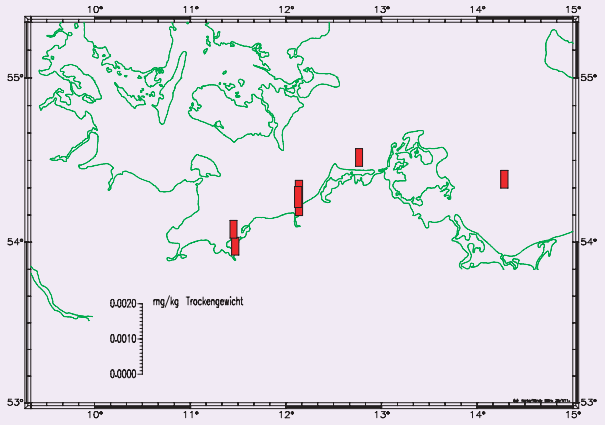


Quelle: *Umweltbundesamt 2004 d*

Organische Schadstoffe

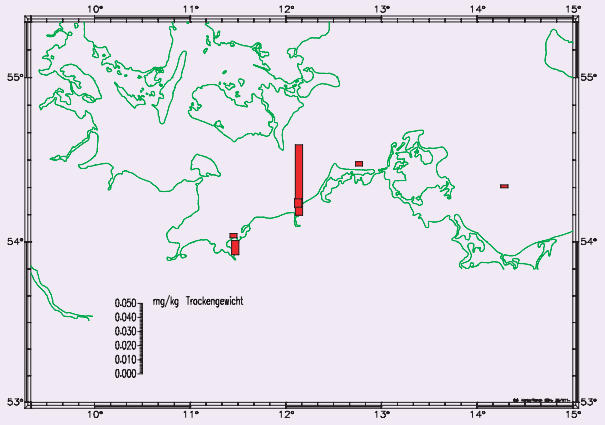
Im Unterschied zum deutschen Nordseegebiet ist die Belastung durch organische Schadstoffe im deutschen Ostseegebiet mehr durch diffuse Einträge aus der Landwirtschaft und punktförmige Einträge aus Altlastenquellen geprägt als durch Einträge über große Flüsse. Die räumliche Verteilung der untersuchten Schadstoffe zeigt für Lindan eine gleichförmig geringe Belastung, wohingegen für PCB 138 ein Belastungsschwerpunkt in der Warnowmündung liegt (Abb. VI 3.2.7-7 und Abb. VI 3.2.7-8). Miesmuscheln und Aalmuttern aus dem Probenahmegebiet bei Darßer Ort sind einerseits deutlich geringer durch PCB, andererseits höher durch das Insektizid

Abb. VI 3.2.7-7: *Lindankonzentration in Muscheln Ostsee 2001*



Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

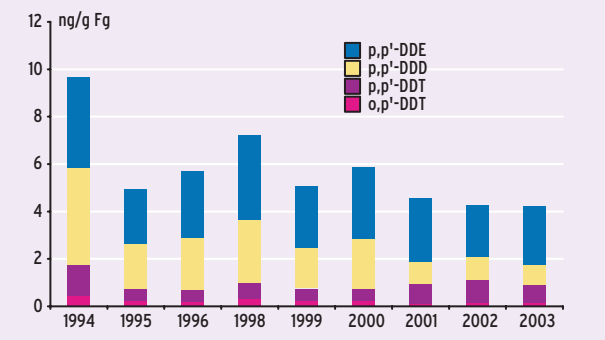
Abb. VI 3.2.7-8: *PCB 138 Konzentration in Muscheln Ostsee 2001*



Quelle: *MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004*

DDT (Dichlordiphenyltrichlorethan) und dessen Metabolite kontaminiert als die Organismen aus der Nordsee. Besonders auffällig ist, dass hier neben den Abbauprodukten DDD und DDE des Pflanzenschutzmittels DDT auch noch hohe Anteile der Ausgangsverbindung DDT nachgewiesen werden können (Abb. VI 3.2.7-9).

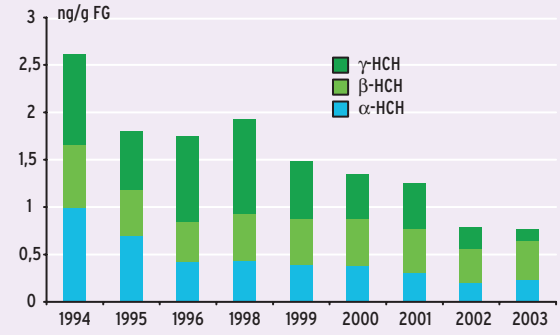
Abb. VI 3.2.7-9: *DDT und Metabolite in Aalmuttermuskulatur (Darßer Ort)*



Quelle: *Umweltbundesamt 2004 d*

Auch die HCH-Belastung ist in Nord- und Ostsee unterschiedlich. Während in Biota aus den Wattenmeeren die HCH-Isomere (α- und β-HCH) von untergeordneter Bedeutung sind, weisen Biota aus dem Ostseeküstenbereich bei insgesamt geringerer HCH-Kontamination deutlich höhere Anteile an α- und β-HCH auf. In Miesmuscheln und Aalmuttermuskulaturen der vorpommerschen Boddenlandschaft betrug die Summe der so genannten Ballastisomere bis zum Faktor 2 der Lindankonzentration, was auf produktionsbedingte Kontaminationen oder Altlasten hindeutet (Abb. VI 3.2.7-10). Über den Beobachtungszeitraum (1994 bis 2003) sinken die HCH-Konzentrationen in Aalmuttermuskulatur deutlich, wobei die stärksten Abnahmen für γ-HCH (ca. 90 %) und α-HCH (ca. 80 %) gemessen werden, während sich die β-HCH-Gehalte nur um ca. 40 % vermindern.

Abb. VI 3.2.7-10: *HCH in Aalmuttermuskulatur (Darßer Ort)*

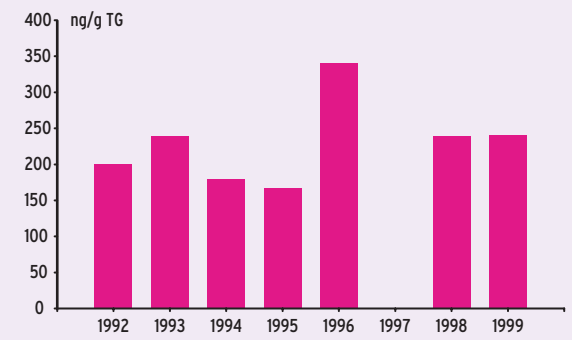


Quelle: *Umweltbundesamt 2004 d*

Diese Ergebnisse reflektieren anschaulich die frühere Bedeutung der Agrarchemikalien DDT und Lindan im Bereich der ehemaligen DDR und Polens.

Die Tributylzinn-Konzentrationen in Miesmuscheln von Darßer Ort liegen im gesamten Beobachtungszeitraum (1986 bis 1999) oberhalb der in Muscheln von der Nordseeküste nachgewiesenen Werte (Abb. VI 3.2.7-11).

Abb. VI 3.2.7-11: *Tributylzinn in Miesmuscheln*



Quelle: *Umweltbundesamt 2004 d*

VI 3.2.8 Eutrophierung in der Ostsee

Nährstoffe

In den Küstengewässern Mecklenburg-Vorpommerns ist die räumliche Verteilung der Nährsalze oftmals durch ausgeprägte horizontale Gradienten geprägt. Vor allem in den inneren Küstengewässern, die durch Flusswasser mit hohen Nährsalzgehalten gespeist sind, sind die Konzentrationen um ein Vielfaches höher als in den vorgelagerten äußeren Küstengewässern. Diese Unterschiede sind umso größer, je höher der jeweilige Zustrom von Flusswasser, verbunden mit dem Nährsalzeintrag, in die Küstengewässer ist [1].

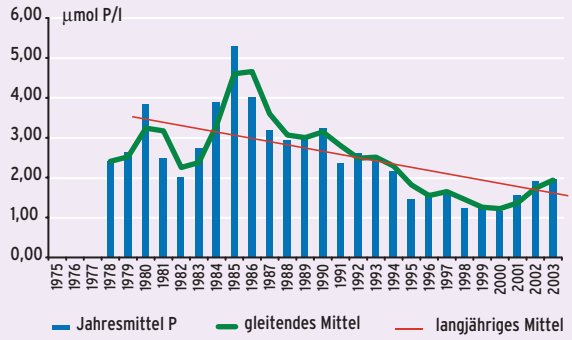
Im Jahreszyklus treten ausgeprägte Schwankungen in den Nährsalzkonzentrationen auf. In den höher belasteten inneren Küstengewässern treten durch den direkten Zustrom aus den Flüssen und von landwirtschaftlichen Flächen sowie durch Resuspensionsprozesse aus den Sedimenten saisonal mehrere Nährstoffmaxima auf. In den äußeren Küstengewässern werden die höchsten Gehalte in den Wintermonaten, also zur Zeit des geringsten Phytoplankton-Aufkommens, gemessen. Generell ist in den Frühjahrs- und Sommermonaten bis zum Herbst ein nahezu vollständiger Verbrauch der angebotenen gelösten Nährsalze durch das Phytoplankton zu verzeichnen.

In den inneren Küstengewässern Schleswig-Holsteins wurden in den Jahren 2000 – 2002 (vor allem im Jahr 2001) vergleichsweise hohe Phosphatwinterkonzentrationen gemessen. Bei Nitrat war dies für das Jahr 2002 zu beobachten. Die jeweiligen Werte übertrafen mit wenigen Ausnahmen auch die in den Jahren von 1990 – 1999 ermittelten Gehalte [2].

In den inneren Küstengewässern Mecklenburg-Vorpommerns und dem Greifswalder Bodden war nach maximalen Werten Mitte der 80er Jahre ein Trend zur Abnahme der Gesamtphosphorkonzentrationen und danach eine Stabilisierung auf niedrigem Niveau bis zum Jahr 2000 zu beobachten. Von 1998 – 2000 wurden die geringsten Jahresmittel für Gesamtphosphor seit Beginn der Küstenüberwachung ermittelt. Seit 2001 waren leicht ansteigende Gehalte zu verzeichnen (Abb. VI 3.2.8-1). Auch in den äußeren Küstengewässern Mecklenburg-Vorpommerns zeigte sich, dass der seit Anfang der 90er Jahre signifikante Trend der Konzentrationsabnahme beim Gesamtphosphor bis 1996 anhielt. Im Zeitraum von 1997 – 2003 kam es wieder zu einem Anstieg bis 2002, danach erneut zu einem stärkeren Abfall. (Abb. VI 3.2.8-2). Das in den inneren wie äußeren Küstengewässern Mecklenburg-Vorpommerns beobachtete Phänomen der Zunahme der Konzentrationen in jüngster Zeit ist vermutlich teilweise durch Remobilisierung großer Phosphatmengen aus den Sedimenten bei Sauerstoffmangel bedingt. Zusätzlich ist seit einiger Zeit eine deutliche Kopplung der Phosphateinträge an das Abflussgeschehen zu beobachten. Diese enge Kopplung zwischen Abfluss und Eintrag für Phosphat ist neu und erst nach der starken Reduktion von Nährstoffeinträgen aus Punktquellen aufgetreten [2]. Dagegen ist die Beziehung zwischen Abfluss und Nitratkonzentration schon länger bekannt. Gründe für die insgesamt positive Entwicklung bei Gesamtphospat seit 1990 sind vor allem in der erheblichen Belastungsreduzierung im Einzugsgebiet dieser Küstenregion zu sehen.

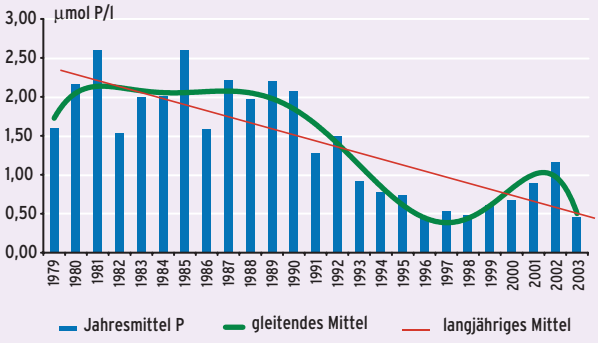
Seit 1975 wird die zeitliche Entwicklung des anorganisch gelösten Stickstoffs in den inneren Küstengewässern Mecklenburg-Vorpommerns überwacht. Ein signifikanter Trend zur Abnahme der Stickstoff-Konzentrationen ist in den inneren Küstengewässern Mecklenburg-Vorpommerns nicht zu erkennen (Abb.

Abb. VI 3.2.8-1: *Zeitliche Entwicklung des Gesamtphosphors in den inneren Küstengewässern Mecklenburg-Vorpommerns, Greifswalder Bodden*



Quelle: *Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern 2004*

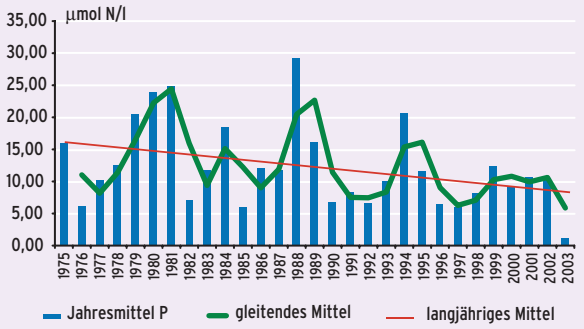
Abb. VI 3.2.8-2: *Zeitliche Entwicklung des Gesamtphosphors in den äußeren Küstengewässern Mecklenburg-Vorpommerns, Mecklenburger Bucht (nördlich Warnemünde),*



Quelle: *Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern 2004*

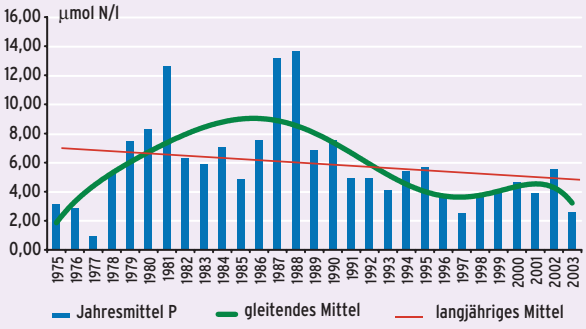
VI 3.2.8-3). Auch für die äußeren Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns zeigt sich kein einheitlicher Verlauf hinsichtlich der zeitlichen Entwicklung des anorganisch gelösten Stickstoffs (Abb. VI 3.2.8-4).

Abb. VI 3.2.8-3: *Zeitliche Entwicklung des anorganisch gelösten Stickstoffs in inneren Küstengewässern, Greifswalder Bodden*



Quelle: *Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern 2004*

Abb. VI 3.2.8-4: *Zeitliche Entwicklung des anorganisch gelösten Stickstoffs in äußeren Küstengewässern Mecklenburg-Vorpommerns, Mecklenburger Bucht*



Quelle: *Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern 2004*

Phytoplankton und Sichttiefe

Ein bekannter Effekt der Eutrophierung ist erhöhtes Algenwachstum verbunden mit den bereits geschilderten negativen Auswirkungen auf das Ökosystem. Trenduntersuchungen seit 1979 zeigen für die Ostsee eine deutliche Zunahme von Dinoflagellaten und eine Abnahme der Diatomeen (Kieselalgen).

In der Kieler Bucht waren die Frühjahrs- und Herbstblüten von 1999–2002 in jedem Jahr mehr oder weniger deutlich erkennbar. Im Untersuchungszeitraum wies das Algenspektrum keine außergewöhnlichen Phytoplanktonentwicklungen auf [2].

Die in den inneren Küstengewässern von Mecklenburg-Vorpommern gewonnenen Ergebnisse der Messungen von Chlorophyll-a-Gehalt, Sichttiefe und Phytoplankton spiegeln die enge Beziehung zwischen dem Trophieniveau der Gewässer, der Intensität der Primärproduktion, dem Chlorophyllgehalt und der Sichttiefe wider. Hohe Trophiegrade werden verursacht durch eine hohe Primärproduktion mit hohen Chlorophyll-a-Gehalten, geringen Sichttiefen und zeitweise hohen pH-Werten.

Diese Verhältnisse werden erwartungsgemäß in Gewässern wie der Darß-Zingster Boddenkette, dem Kleinen Jasmunder Bodden und dem Oderästuar gemessen. Sie zeichnen sich durch ungünstige hydrographische Bedingungen aus, d.h. sie verfügen über einen geringen Wasseraustausch mit der vorgelagerten Ostsee und weisen eine hohe Flusswasserzufuhr auf.

Innere Küstengewässer mit geringerem Nährstoffpotenzial und günstigeren hydrographischen Bedingungen, wie Wismarer Bucht, West- und Nordrügenscher Bodden, Strelasund und Greifswalder Bodden, sind durch deutlich niedrigere Chlorophyll-a-Gehalte und bessere Sichtverhältnisse gekennzeichnet.

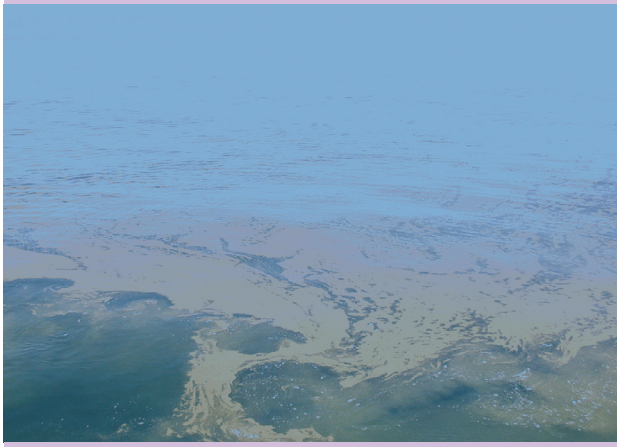
Die äußeren Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns sind im Hinblick ihres Trophiegrades von einem charakteristischen Ost-West-Gefälle gekennzeichnet. Die im Einflussgebiet der „Oderfahne“ befindlichen Seegebiete östlich von Rügen und die Pommersche Bucht zeichnen sich durch höhere Chlorophyll-a-Gehalte und geringere Sichttiefen als die Seegebiete nördlich Rügens sowie der Mecklenburger Bucht aus.

In den Jahren 2000 – 2002 konnten in den Küstengewässern von Mecklenburg-Vorpommern vor allem in den Winter- und Frühjahrsmonaten lokal ungewöhnliche und extreme Phänomene im Hinblick auf die Phytoplanktonentwicklung beobachtet werden. Dazu zählte auch bereits sehr frühes intensives und anhaltendes Auftreten von Cryptoflagellaten in den östlichen Seegebieten. Aspektwechsel beim Phytoplankton blieben aus oder zeigten sich zeitlich stark verschoben. Im Jahresverlauf wurden sowohl bei den Biovolumina als auch den Chlorophyll-Konzentrationen mehrfach deutliche Überschreitungen der langjährigen Maxima registriert [1], [2]. Im Sommer kam es zeitweise und lokal, vor allem in den östlichen Seegebieten, zu intensiver Blaualgenentwicklung (Abb. VI 3.2.8-5).

Sauerstoffgehalt und Sauerstoffsättigung

In den Küstengewässern Schleswig-Holsteins und Mecklenburg-Vorpommerns kommt es wie vor der dänischen Küste in jedem Jahr zu Sauerstoffdefiziten im Sommer und Herbst. Die Witterungs- und Strömungsbedingungen führen zu einer äußerst sta-

Abb. VI 3.2.8-5: *Aufrahmung der Blaualge Aphanizomenon flos-aquae im Greifswalder Bodden*



Quelle: *Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern 2004*

bilen thermohalinen Schichtung, die über längere Zeiträume Bestand haben kann. Mikrobieller Abbau organischen Materials (z. B. Phytoplankton) führt am Meeresboden zu fortschreitender Sauerstoffverarmung. Sommer und Herbst 2002 stellten hinsichtlich dieser Prozesse eine Extremsituation dar. Starker Sonnenschein und schwache Winde führten zu einer ausgeprägten Schichtung des Wasserkörpers bis in den September. Angetrieben durch verstärkte Nährstoffeinträge in Folge hoher Niederschlagsmengen im Winter und Frühjahr kam es im September in weiten Teilen der westlichen Ostsee vor der dänischen und schleswig-holsteinischen Küste zu extremem Sauerstoffmangel in Bodennähe, verbreitet sogar zum Auftreten von Schwefelwasserstoff. Die westliche Küste Mecklenburg-Vorpommerns war auch betroffen. Die inneren Gewässer Schleswig-Holsteins waren im bodennahen Bereich unterhalb von 15 Meter Wassertiefe praktisch sauerstofffrei. Schwefelwasserstoff war dort noch im Oktober 2002 anzutreffen. Selbst im November waren die Sauerstoffgehalte in Tiefenwasser der Flensburger Förde mit 0,2–1,5 mg/l extrem niedrig für diese Jahreszeit [2].

In den hochproduktiven inneren Küstengewässern kann es infolge der intensiv ablaufenden biologischen Prozesse vor allem in den Frühjahrs- und Sommermonaten zu beträchtlichen Schwankungen des Sauerstoffgehaltes kommen. In den stark eutrophierten Gewässern traten im Zeitraum 2000 – 2002 häufiger hohe Übersättigungen bis über 200 % in den Oberflächenschichten durch die Primärproduktion des Phytoplanktons auf [1]. Im bodennahen Wasser können dagegen erhebliche Sauerstoffdefizite durch mikrobiellen Sauerstoff verbrauchende Abbauprozesse beobachtet werden. Dies gilt vor allem für die Wismarer Bucht und die Unterwarnow.

Das Sauerstoffregime in den äußeren Küstengewässern ist wegen der weniger intensiv ablaufenden biologischen Prozesse geringeren Schwankungen unterworfen. Aber auch dort führt die Primärproduktion des Phytoplanktons im Frühjahr und Sommer zu Sauerstoffübersättigungen. Zwischen Boltenhagen und Kap Arkona lagen diese zwischen 2000 und 2002 bei maximal 130 % [1]. Östlich von Rügen und in der hoch eutrophierten Pommerschen Bucht wurden vor allem im Jahr 2002 bis 100 % gemessen. In der Lübecker und Mecklenburger Bucht führen die hydrographischen Besonderheiten mit äußerst stabiler thermohaliner Schichtung, die die Sauerstoffzufuhr in tiefere Wasserschichten stark behindert, fast alljährlich zu einer Sauerstoffverarmung ab einer Wassertiefe von ungefähr 20 m. Auch im Zeitraum von 2000 – 2002 wurden im Bodenwasser der Lübecker und Mecklenburger Bucht kritische Sauerstoffgehalte ermittelt. Vor allem im warmen Sommer 2002 entstand eine ausgeprägte anhaltende Sauerstoffmangelsituation, die schon mit sinkenden Werten im Mai begann [2].

In der Wismarer Bucht traten in diesem Zeitraum Sauerstoffdefizite zwischen 5 mg/l (relativ moderat) und 2 – 3 mg/l auf. Vergleichbare Verhältnisse waren auch in der Vergangenheit zu beobachten.

Zunehmende Sauerstoffverarmung mit Sauerstoffgehalten unter 4 mg/l ist für Fische kritisch zu bewerten und führt zu Fluchtreaktionen. Für die Bodenbewohner sind Werte kleiner als 2 mg/l nicht mehr tolerabel. Bei vollständigem Verbrauch des Sauerstoffs produzieren Schwefelbakterien das Zellgift Schwefelwasserstoff, und dies kann zu großflächigem Absterben des Makrozoobenthos führen.

Von Juli bis November wurden in diesen drei Jahren kritische Sauerstoffgehalte unter 4 oder sogar 2 mg/l beobachtet. In diesem Zusammenhang kann von einer großflächigen Schädigung der ansässigen Bodenfauna ausgegangen werden.

Makrozoobenthos

Vergleiche der Ergebnisse historischer Untersuchungen aus den 30er Jahren mit heutigen Erhebungen lassen anhand eines ostseespezifischen Sukzessionsmodells für fast alle damals untersuchten Ostseeböden eine Verschlechterung um mindestens eine Stufe erkennen. Grundsätzlich lassen sich die an der Küste Mecklenburg-Vorpommerns festgestellten Veränderungen in der Gemeinschaftsstruktur des Zoobenthos auf die Folgen der Eutrophierung zurückführen, auch wenn bestimmte Phänomene, wie die Zunahme der Nährstoffe, nicht direkt mit diesen Veränderungen korrelieren. Bestimmte meteorologische und hydrographische Besonderheiten haben auch schon in der Vergangenheit unterschiedlich starke Veränderungen der Benthoszönosen bewirkt.

Das Makrozoobenthos der deutschen Ostseeküste wird dominiert durch Meeresborstenwürmer, Muscheln und Schnecken. Muscheln bestimmen die Biomasse der Benthosbewohner. Die Verbreitung der Bewohner des Meeresbodens der Ostsee hängt vor allem von drei Faktoren ab: Beschaffenheit des Substrates und Sauerstoff- sowie Salzgehalt am Meeresboden. Verschmutzung und Eutrophierung können sich negativ auf diese Lebensgemeinschaft auswirken. Die schon erwähnte ausgeprägte Sauerstoffmangelsituation im Jahr 2002 führte in der Mecklenburger Bucht zu großflächigem Absterben der Bodenbewohner. In Wassertiefen größer als 20 m überlebten nur wenige sehr robuste Arten. Seit 1999 ist eine Verschlechterung der Lebensbedingungen für die Bodenlebensgemeinschaften in der westlichen Ostsee festzustellen, illustriert auch durch den Rückgang der Anzahl der in den Bodenproben aufgefundenen Arten. Im küstennahen Bereich wurden von 2000 – 2002 dagegen einige Arten gefunden, die gemäß der Roten Liste Ostsee als „vom Aussterben bedroht“ gelten. Der aus nordamerikanischen Gewässern Mitte der 80er Jahre eingebrachte Wurm Marenzelleria viridis hat inzwischen die inneren Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns und die Pommersche Bucht mit oftmals sehr hohen Individuendichten erobert [1], [2].

Klassifizierung nach Trophie und organischer Belastung

Für die Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns findet zurzeit noch ein landesinternes Verfahren zur Beurteilung der Wasserbeschaffenheit Anwendung. Eine Klassifizierung erfolgt anhand von Trophie sowie organischer Belastung und stellt eine einfache Bewertung chemischer sowie biologischer Monitoringdaten dar. Die Qualität der Küstengewässer wird durch die Nährsalzeinträge vom Land und aus den belasteten Sedimenten gesteuert.

Die Ergebnisse der Klassifizierung spiegelten in der Vergangenheit das konstant hohe trophische Niveau der inneren Küstengewässer wider. Dieses war einerseits auf hohe Einträge aus den Einzugsgebieten und andererseits auf die gewässerinternen Nährsalzquellen (in den Sedimenten) zurückzuführen. Die verringerte Nährstoffbelastung aus Flüssen, Landwirtschaft und Kläranlagen führte in den inneren Küstengewässern in den letzten 10 Jahren zu einer deutlichen Verbesserung der Wasserqualität. Trotzdem verfügen sie unverändert über ein zu hohes Eutrophierungspotenzial. „Begünstigte“ Gewässertypen mit kleinem Einzugsgebiet und gutem Wasseraustausch mit der Ostsee, wie Wismarer Bucht, Salzhaff, West- und Nordrügensche Bodden, Strelasund sowie Greifswalder Bodden weisen naturgemäß eine bessere Wasserqualität auf. Gewässer mit großem Einzugsgebiet und geringem Austausch mit der Ostsee weisen zwangsläufig eine geringere Güte auf. Dazu zählen Unterwarnow, Darß-Zingster Bodden, Peenestrom, Achterwasser und das kleine Stettiner Haff. Die für die inneren Küstengewässer seit 1995 registrierte Tendenz zur Verbesserung stabilisierte sich im Zeitraum von 2000 – 2002. Die äußeren Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns sind unverändert einem deutlich verbesserten Trophieniveau als die inneren Küstengewässer zuzuordnen. Dies ist einerseits bedingt durch die Bodden, die als Filter und Puffer für die landseitigen Einträge dienen und andererseits durch den intensiven Wasseraustausch mit der vorgelagerten Ostsee und ihren ausgezeichneten hydrografischen Bedingungen. Sauerstoffmangel im Bodenwasser der westlichen Mecklenburger Bucht sowie erhöhte Nährsalzkonzentrationen sorgten jedoch dafür, dass sich die Wasserqualität von 1999 – 2002 verschlechterte. Im Seegebiet der Pommerschen Bucht macht sich der Einfluss der Oder („Nährstofffahne“) durch eine nach Süden zunehmend schlechte Wassergüte bemerkbar. Hohe Nährsalz- und Phytoplanktonkonzentrationen verbunden mit geringen Sichttiefen ließen auch für diese Jahre nur eine Einstufung in die schlechteren Güteklassen zu. Aufgrund der Sauerstoffmangelereignisse, vor allem im warmen Sommer des Jahres 2002, trat für die äußeren Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns eine leichte Verschlechterung der Trophiesituation im Vergleich zu den Vorjahren ein [2].

[1] Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg Vorpommern (Hrsg.): Gewässergütebericht Mecklenburg-Vorpommern (2000/2001/2002), Ergebnisse der Gewässerüberwachung der Fließ- Stand- und Küstengewässer und des Grundwassers in Mecklenburg-Vorpommern.

[2] Messprogramm Meeresumwelt (2005): Zustandsbericht 1999-2002 für Nord- und Ostsee

VI 4 Abwasserbehandlung

VI 4.1 Anschluss der Bevölkerung an Abwasserbehandlungsanlagen

Im Jahre 2001 waren 95 % der gesamten Wohnbevölkerung an die Kanalisation angeschlossen (Tab. VI 4.1-1 und Tab. VI 4.1-2).

93 % der Bevölkerung waren im Jahre 2001 an öffentliche Kläranlagen angeschlossen (Tab. VI 4.1-3). Dabei variierten die Anschlussgrade zwischen den Bundesländern erheblich (Tab. VI 4.1-4). Besonders die neuen Bundesländer weisen niedrige Anschlussgrade auf (Abb. VI 4.1-1).

Die Gesamtzahl der biologischen Anlagen nimmt kontinuierlich zu. Im Jahre 2001 machten sie rd. 96 % der gesamten Anlagen aus. Die mechanische

Tab. VI 4.1-1: *Anschluss der Bevölkerung an die öffentliche Kanalisation in %*

Anschluss an Kanalisation	1991	1995	1998	2001
D	90	92	93	95
AL	94	95	96	–
NL	75	77	80	–

Bevölkerung jeweils am 31.12.
– In der Statistik nicht ausgewiesen
Quelle: *Statistisches Bundesamt 2003*

Tab. VI 4.1-2: *Anschluss der Bevölkerung an die öffentliche Kanalisation nach Bundesländern 2001*

	Anschlussgrad an die öffentliche Kanalisation in %
Baden-Württemberg	99
Bayern	94
Berlin	99
Brandenburg	77
Bremen	100
Hamburg	100
Hessen	99
Mecklenburg-Vorpommern	82
Niedersachsen	93
Nordrhein-Westfalen	97
Rheinland-Pfalz	99
Saarland	99
Sachsen	85
Sachsen-Anhalt	84
Schleswig-Holstein	94
Thüringen	91

Bevölkerung jeweils am 31.12.
Quelle: *Statistisches Bundesamt 2003*

Tab. VI 4.1-4: *Anschluss der Bevölkerung an Kläranlagen nach Bundesländern 2001*

	Anschlussgrad an Kläranlagen in %
Baden-Württemberg	99
Bayern	94
Berlin	98
Brandenburg	77
Bremen	100
Hamburg	100
Hessen	99
Mecklenburg-Vorpommern	81
Niedersachsen	93
Nordrhein-Westfalen	97
Rheinland-Pfalz	98
Saarland	90
Sachsen	78
Sachsen-Anhalt	81
Schleswig-Holstein	93
Thüringen	61

Bevölkerung jeweils am 31.12.
Quelle: *Statistisches Bundesamt 2003*

Abwasserbehandlung wird innerhalb der statistischen Erhebungen seit 1998 wegen ihrer geringen Bedeutung nicht mehr ausgewiesen.

Die Behandlung des Abwassers der nicht angeschlossenen Einwohner erfolgt in der Regel über Kleinkläranlagen.

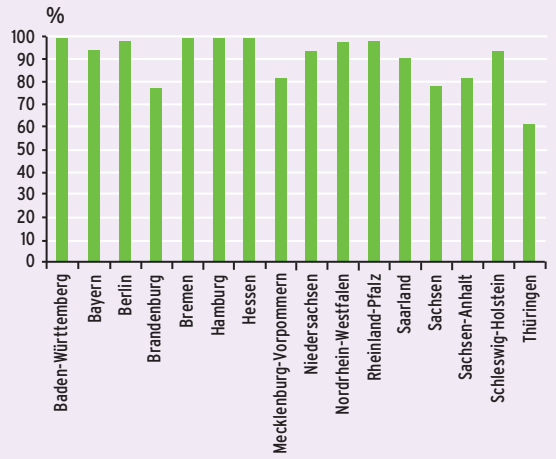
Die Abwasserbeseitigung (Kanalisationen und Kläranlagen) bildet neben der Trinkwasserversorgung einen der Schwerpunkte der wasserwirtschaftlichen

Tab. VI 4.1-3: *Kläranlagen und angeschlossene Bevölkerung*

			1991	1995	1998	2001
Kläranlagen	in Tsd.	D	9 935	10 273	10 312	10 188
		AL	8 669	8 376	8 032	–
		NL	1 266	1 897	2 280	–
darunter						
biologische Kläranlagen ohne und mit	in Tsd.	D	8 141	8 970	9 526	9 786
gezielter Nährstoffelimination		AL	7 301	7 393	7 469	–
		NL	840	1 577	2 057	–
Angeschlossene Bevölkerung	in Tsd.	D	68 488	72 219	74 204	76 512
		AL	59 089	61 919	63 241	–
		NL	9 399	10 301	10 965	–
darunter						
an biologische Kläranlagen ohne und	in Tsd.	D	63 118	68 819	73 334	76 359
mit gezielter Nährstoffelimination		AL	57 721	61 163	62 982	–
angeschlossene Bevölkerung		NL	5 397	7 656	10 352	–
Anschlussgrad der Bevölkerung						
– an biologische Kläranlagen ohne und	in %	D	79	84	90	93
mit gezielter Nährstoffelimination		AL	72	75	77	–
		NL	7	9	13	–
– an mechanische Kläranlagen	in %	D	6	4	1	0
		AL	2	1	–	–
		NL	5	3	–	–

Quelle: *Statistisches Bundesamt 2003*

Abb. VI 4.1-1: *Anschluss der Bevölkerung an Kläranlagen nach Bundesländern 2001*



Quelle: *Statistisches Bundesamt 2003*

Maßnahmen von Bund und Ländern. Von 1991 bis 2000 flossen rund 65,5 Mrd. DM in die Abwasserbeseitigung [1].

Im Jahre 2001 lagen die Ausführungskosten wasserwirtschaftlicher Baumaßnahmen für die Abwasserbeseitigung bei 2,6 Mrd. € (ohne Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Mecklenburg-Vorpommern) [2].

VI 4.2 In öffentlichen Kläranlagen behandelte Abwassermenge

Ziel der Abwasserbehandlung ist die Verringerung von Gewässerbelastungen durch Abwassereinleitungen.

Im Jahre 2001 wurden insgesamt rd. 10,5 Mrd. m^3 Abwasser in öffentlichen Anlagen behandelt und anschließend in die Oberflächengewässer eingeleitet. Davon waren rd. 5,3 Mrd. m^3 Schmutzwasser, also durch den Gebrauch verändertes Wasser, und rd. 5,2 Mrd. m^3 Fremd- und Niederschlagswasser (Tab. VI 4.2-1).

94,7 % des insgesamt gereinigten Abwassers wurden in biologisch wirkenden Kläranlagen mit gezielter Nährstoffelimination gereinigt. Weitere 5,2 % durchliefen eine Behandlung in biologischen Anlagen ohne zusätzliche Verfahrensstufe. Die mechanische Reinigungsstufe ist mit 0,1 % des behandelten Abwassers in Deutschland bedeutungslos geworden (Abb. VI 4.2-1).

Verbleib der Klärschlämme aus öffentlichen Kläranlagen

Nach Reinigung des Abwassers fielen im Jahre 2001 insgesamt 2,4 Mio. t Klärschlamm als Trockenmasse

Tab. VI 4.2-1: *In öffentlichen Kläranlagen behandelte Abwassermenge in Mio. m^3*

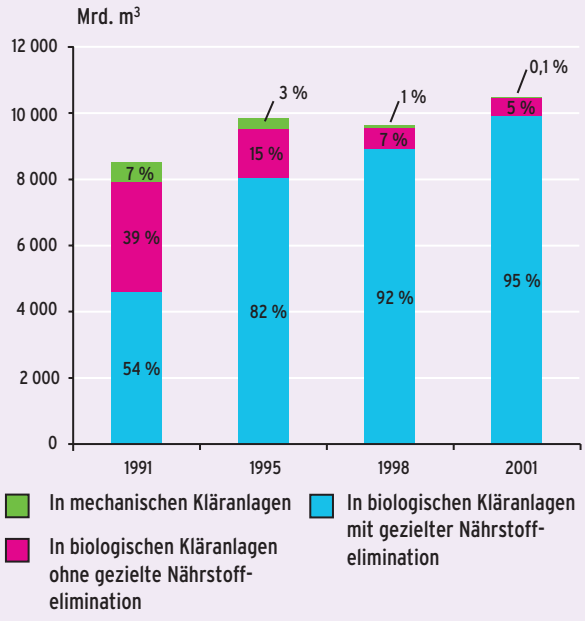
	1991	2001
Zu behandelnde Jahresabwassermenge insgesamt	8 512	10 473
davon		
Schmutzwasser	5 158	5 254
Fremd- und Niederschlagswasser	3 354	5 219
Darunter in biologischen Kläranlagen mit		
gezielter Nährstoffelimination	4 617	9 916
davon		
Schmutzwasser	2 922	5 051
Fremd- und Niederschlagswasser	1 695	4 865
Darunter in biologischen Kläranlagen ohne		
gezielte Nährstoffelimination	3 295	542
davon		
Schmutzwasser	1 814	196
Fremd- und Niederschlagswasser	1 481	345
Darunter in mechanischen Kläranlagen	582	16
davon		
Schmutzwasser	404	7
Fremd- und Niederschlagswasser	178	9

Schmutzwasser: durch Gebrauch verändertes Wasser

Fremdwasser: der unerwünschte Abfluss in einem Entwässerungssystem

Quelle: *Statistisches Bundesamt 2003*

Abb. VI 4.2-1: *In öffentlichen Kläranlagen behandelte Abwassermenge*

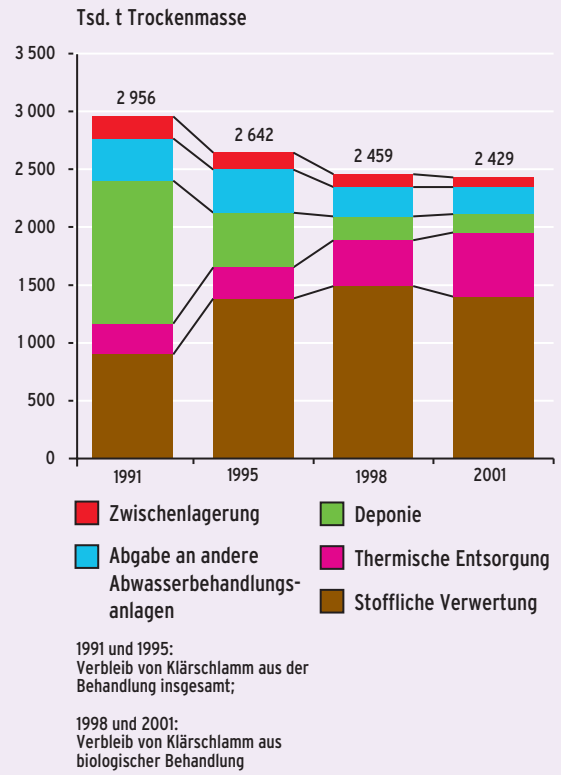


Quelle: *Statistisches Bundesamt 2003*

an. Der weitaus größte Teil (ca. 58 %) wurde stofflich verwertet. Diese Verwertung erfolgte vorwiegend in der Landwirtschaft und bei landschaftsbaulichen Maßnahmen.

Die thermische Entsorgung von Klärschlamm ist neben der stofflichen Verwertung weiterhin bedeutend und ist an der insgesamt beseitigten Menge mit 23 % beteiligt. 2001 wurden noch etwa 7 % der Klärschlämme abgelagert (Abb. VI 4.2-2 und Tab. VI 4.2-2).

Abb. VI 4.2-2: *Klärschlammverbleib aus der biologischen Abwasserbehandlung in öffentlichen Kläranlagen*



Quelle: *Statistisches Bundesamt 2003*

Tab. VI 4.2-2: *Klärschlammverbleib aus der biologischen Abwasserbehandlung in öffentlichen Kläranlagen in t Trockenmasse*[1)]

	1991	2001
Beseitigte Menge insgesamt	2 955 613	2 429 403
darunter		
Stoffliche Verwertung	901 176	1 399 456
Thermische Entsorgung	266 086	554 924
Deponie	1 236 392	159 673
Abgabe an andere Abwasserbehandlungsanlagen[2)]	364 492	234 227
Zwischenlagerung	187 467	81 123

[1)] 1991 und 1995: Verbleib von Klärschlamm aus der Behandlung insgesamt;
1998 und 2001: Klärschlammverbleib aus biologischer Behandlung

[2)] 1991 und 1995 einschl. sonstigem Verbleib

Quelle: *Statistisches Bundesamt 2003*

Weitere Informationen finden Sie unter „Boden/Einträge von Schwermetallen durch Klärschlämme auf landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzten Flächen“ und „Umweltrelevante Kenngrößen der Abfallwirtschaft/Thermische Behandlungsanlagen für Rest-Siedlungsabfälle“.

VI 4.3 Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen

Für den Gewässerschutz ist die Qualität des eingeleiteten, gereinigten Abwassers von hoher Bedeutung. Daher wird von der Abwassertechnischen Vereinigung „Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (ATV-DVWK)“ regelmäßig ein Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen durchgeführt. 1992 waren die neuen Länder erstmals beteiligt. Der Leistungsvergleich erfolgt auf der Grundlage von Eigenkontrollmessungen des Kläranlagenpersonals, das 2002 rund 1,5 Mio. Einzelmessungen durchführte. Es beteiligten sich insgesamt 5 934 Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von 135,6 Mio. Einwohnerwerten (EW). Damit wurden ca. 90 % der angeschlossenen EW in Deutschland erfasst.

Bundesweit waren rund 94 % der erfassten EW und ca. 80 % aller Kläranlagen der Sauerstoffbedarfsstufe 1 bis 2 zuzuordnen. Der Mittelwert für Deutschland lag mit 1,4 noch in der Sauerstoffbedarfsstufe 1 („sehr geringe Restverschmutzung“), es erfolgte somit ein weitgehender Kohlenstoffabbau in den Kläranlagen. Es ist erkennbar, dass die Leistungsfähigkeit der Kläranlagen in den Landesgruppen der neuen Länder sich verbesserte, auch wenn es besonders in Sachsen und Thüringen noch einen erhöhten Nachholbedarf gegenüber den alten Ländern gibt.

Für 5 927 Kläranlagen beträgt die Nährstoffbelastungsstufe im Mittel 1,7. Obwohl etwa 2/3 der am Leistungsvergleich beteiligten Kläranlagen mit 88 % der Ausbaukapazität die Anforderungen zur Nährstoffelimination erfüllen, gibt es regional noch unterschiedlichen Handlungsbedarf (Tab. VI 4.3-1).

VI 4.4 Abwasserbehandlung im Bergbau und Verarbeitenden Gewerbe

In 3 320 betriebseigenen Behandlungsanlagen im Bergbau und Verarbeitenden Gewerbe wurden im Jahre 2001 insgesamt ca. 1,06 Mrd. m^3 Abwasser behandelt, etwa 52 % weniger als 1991 (Tab. VI 4.4-1). Bezogen auf die im Jahre 2001 insgesamt behandelte Abwassermenge sank der Anteil des in mechanischen Anlagen gereinigten Abwassers auf 8 %, während der Anteil des biologisch gereinigten Abwassers auf 66 % stieg. Damit ist ein Trend zur höheren Reinigungsleistung belegt (Abb. VI 4.4-1).

Tab. VI 4.3-1: *Entwicklung des Sauerstoffbedarfs und der Nährstoffbelastung des abgeleiteten Abwassers 1992 bis 2002*

		1992	1994	1996	1998	2000	2002
Sauerstoffzehrende Stoffe							
BSB_5	mg/l	9	8	7	6	5	5
CSB	mg/l	50	44	42	37	34	32
NH_4-N	mg/l	11	8	7	5	3	2
Sauerstoffbedarfsstufe		**2,7**	**2,0**	**2,0**	**1,7**	**1,5**	**1,4**
Gewässerdüngende Stoffe							
Stickstoff	mg/l	22	19	18	14	11	9
Phosphor	mg/l	1,7	1,2	1,0	1,0	0,8	0,8
Nährstoffbelastungsstufe		**2,9**	**2,5**	**2,4**	**2,1**	**1,8**	**1,7**

Klassifikation der Restverschmutzung von abgeleitetem Abwasser (Sauerstoffbedarf und Nährstoffbelastung)

Stufe	Restverschmutzung	Kennwerte in mg/l für Sauerstoffbedarfsstufen			Nährstoffbelastungsstufen	
		BSB_5	CSB	NH_4-N	N_{ges}	P_{ges}
1	sehr gering	0–5	0–30	0–1	0–8	0–0,5
2	gering	6–10	31–50	2–3	9–13	0,6–1,0
3	mäßig	11–20	51–90	4–10	14–18	1,1–2,0
4	groß	21–30	91–120	11–20	19–35	2,1–5,0
5	sehr groß	>30	>120	>20	>35	>5,0

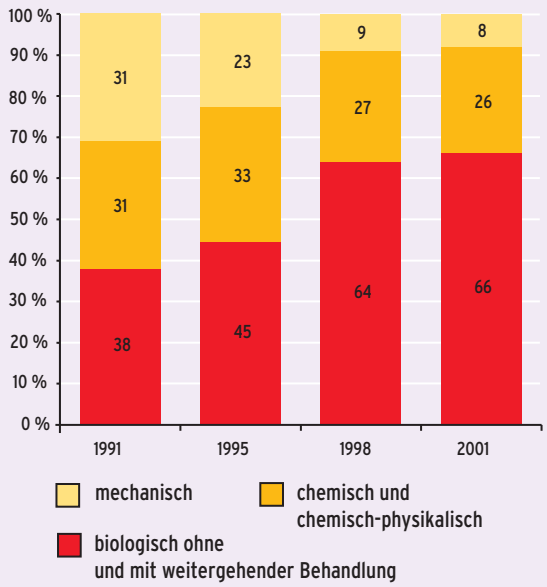
Quelle: *Abwassertechnische Vereinigung 2002*

Tab. VI 4.4-1: *Abwasserbehandlung in betriebseigenen Behandlungsanlagen des Bergbaus und des Verarbeitenden Gewerbes*

		1991		2001	
Anlagen	Anzahl	5 646		3 320	
Behandeltes Abwasser	Mrd. m^3	2,2	(100 %)	1,06	(100 %)
mechanisch	Mrd. m^3	0,7	(31%)	0,09	(8 %)
chemisch und chemisch-physikalisch	Mrd. m^3	0,7	(31%)	0,27	(26 %)
biologisch ohne und mit weitergehender Behandlung	Mrd. m^3	0,9	(38%)	0,70	(66 %)

Quelle: *Statistisches Bundesamt 2003 a*

Abb. VI 4.4-1: *Abwasserbehandlung in betriebseigenen Behandlungsanlagen des Bergbaus und Verarbeitenden Gewerbes*



Quelle: *Statistisches Bundesamt 2003 a*

Verbleib der Klärschlämme aus betriebseigenen Behandlungsanlagen

Nach Reinigung des Abwassers in betriebseigenen chemischen, chemisch-physikalischen und biologischen Kläranlagen fielen in 2001 insgesamt 1,2 Mio. t Klärschlamm als Trockenmasse an.

13 % der Klärschlämme aus chemischen und chemisch-physikalischen Kläranlagen waren als Sonderabfall zu entsorgen. Etwa ein Drittel dieser Klärschlämme wurde abgelagert.

Die Klärschlämme aus der biologischen Abwasserbehandlung wurden überwiegend verbrannt. Fast ein Drittel konnte stofflich verwertet werden. Nur 11 % wurden abgelagert (Tab. VI 4.4-2).

Tab. VI 4.4-2: *Verbleib der Klärschlämme aus betriebseigenen Kläranlagen des Bergbaus und Verarbeitenden Gewerbes 2001 in t Trockenmasse*

Beseitigte Mengen insgesamt	**1 205 384**
davon	
aus der chemischen und chemisch-physikalischen Abwasserbehandlung	550 255
davon	
Entsorgung als besonders überwachungsbedürftiger Abfall	71 051
Deponie	181 401
sonstiger Verbleib	297 803
aus der biologischen Abwasserbehandlung	655 129
darunter	
Deponie	72 956
stoffliche Verwertung	203 171
thermische Entsorgung	357 521

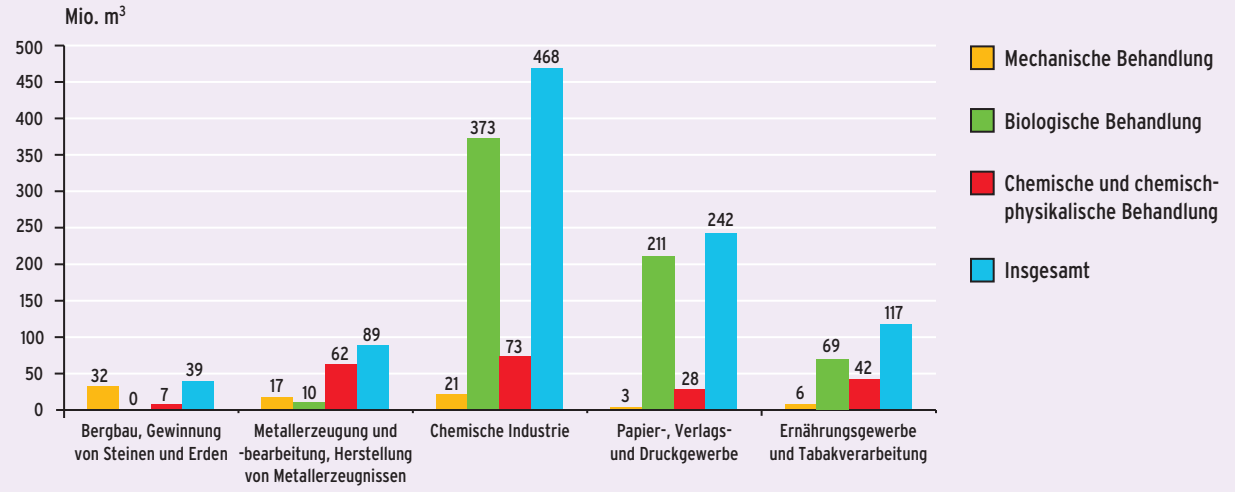
Quelle: *Statistisches Bundesamt 2003*

Abwasserbehandlung in betriebseigenen Behandlungsanlagen (ausgewählte Branchen)

In Anlagen der in Abb. VI 4.4-2 dargestellten fünf ausgewählten Branchen wurden in 2001 etwa 1,0 Mrd. m^3 Abwasser behandelt.

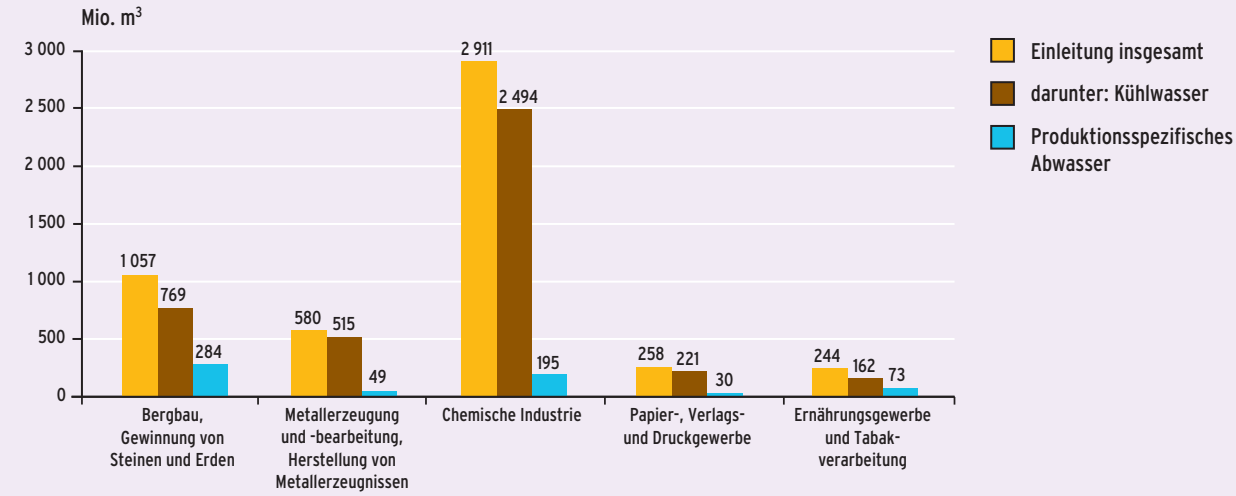
Die weitaus größte Abwassermenge wurde in der chemischen Industrie behandelt. Auffallend war hierbei der hohe Anteil des biologisch behandelten Abwassers. Diese gegenüber der statistischen Erhebung von 1998 um ca. 7 % erhöhte Abwassermenge (relativ zur insgesamt behandelten Abwassermenge) ist möglicherweise auf Verfahrensumstellungen sowohl bei der Produktion als auch Abwasserbehandlung zurückzuführen. Der Anteil des chemisch und chemisch-physikalisch gereinigten Abwassers nahm im gleichen Zeitraum erheblich ab.

Abb. VI 4.4-2: *Abwasserbehandlung in betriebseigenen Behandlungsanlagen ausgewählter Branchen*



Quelle: *Statistisches Bundesamt 2003 a*

Abb. VI 4.4-3: *Einleitung unbehandelten Abwassers – Direkt- und Indirekteinleitung ausgewählter Branchen 2001*



Quelle: *Statistisches Bundesamt 2003*

Einleitung unbehandelten Abwassers – Direkt- und Indirekteinleitung (ausgewählte Branchen)

Im Erhebungsjahr 2001 wurden ca. 5,5 Mrd. m^3 Abwasser unbehandelt abgeleitet. In der Abb. VI 4.4-3 sind diejenigen Branchen dargestellt, die daran mit ca. 5 Mrd. m^3 den größten Anteil hatten.

Von den hier ausgewählten Branchen war wiederum die chemische Industrie diejenige, welche mit rund 2,9 Mrd. m^3 die größte Abwassermenge einleitete. Dieser hohe Wert war im Wesentlichen auf den Kühlwasseranteil zurückzuführen, der allerdings gegenüber dem Erhebungsjahr 1998 um ca. 146 Mio. m^3 geringer ausfiel.

Im Vergleich zum hohen Kühlwassereinsatz war bei allen Branchen die Menge des produktionsspezifischen Abwassers relativ geringfügig (Tab. VI 4.4-3).

Tab. VI 4.4-3: *Abwassereinleitung aus dem Bergbau und Verarbeitenden Gewerbe 2001*

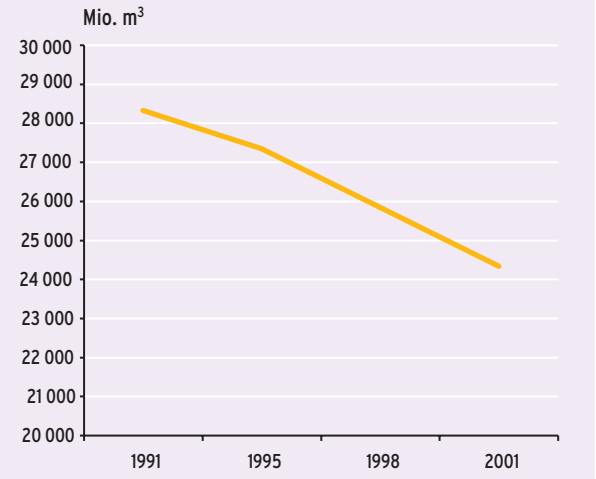
Wirtschaftsgliederung	Direkt- und Indirekteinleitung						Direkteinleitung	Indirekteinleitung
	Insgesamt	Unbehandeltes Abwasser			Behandeltes Abwasser	Ungenutztes Wasser		
		Zusammen	darunter					
			Kühlwasser	Produktionsspezifisches Abwasser				
	1 000 m^3							
Bergbau, Gewinnung von Steinen und Erden, Verarbeitendes Gewerbe	7 576 146	5 460 287	4 462 094	702 262	1 062 020	1 053 840	6 793 961	782 186
Bergbau, Gewinnung von Steinen und Erden	2 030 754	1 056 968	768 657	284 165	38 655	935 131	2 024 267	6 487
Kohlenbergbau, Torfgewinnung, Gewinnung von Erdöl und Erdgas	1 684 571	763 674	754 222	5 728	26 980	893 917	1 679 221	5 350
Erzbergbau, Gewinnung von Steinen und Erden, sonstiger Bergbau	346 183	293 294	14 436	278 435	11 675	41 214	345 046	1 137
Verarbeitendes Gewerbe	5 545 393	4 403 319	3 693 437	418 094	1 023 366	118 709	4 769 694	775 699
Ernährungsgewerbe und Tabakverarbeitung	368 408	244 440	162 356	72 922	116 523	7 445	224 272	144 137
Textil- und Bekleidungsgewerbe	41 619	22 384	3 258	17 029	18 719	516	6 491	35 128
Ledergewerbe	2 667	199	57	80	} 2 974	} 104	563	2 104
Holzgewerbe (ohne Herstellung von Möbeln)	9 662	9 052	6 034	2 426			7 659	2 003
Papier-, Verlags- und Druckgewerbe	500 007	257 686	221 324	30 374	241 902	420	442 558	57 450
Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen	130 888	084 938	80 114	2 733	40 872	5 078	117 708	13 180
Chemische Industrie	3 395 757	2 910 685	2 493 657	194 608	467 563	17 509	3 032 110	363 648
Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	87 760	83 520	74 411	5 329	3 639	601	67 969	19 791
Glasgewerbe, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	114 499	46 424	19 204	23 767	9 751	58 325	103 403	11 097
Metallerzeugung und -verarbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen	687 073	579 647	515 099	49 392	88 515	18 912	630 979	56 094
Maschinenbau	41 043	36 614	21 719	8 850	2 368	2 062	25 723	15 320
Herstellung von Büromaschinen, DV-Geräten und -einrichtungen, Elektrotechnik usw.	90 180	74 549	62 775	4 198	13 746	1 885	63 737	26 443
Fahrzeugbau	70 985	48 926	30 669	5 511	16 274	5 785	43 797	27 189
Herstellung von Möbeln, Schmuck, Musikinstrumenten usw., Recycling	4 843	4 255	2 762	870	520	68	2 727	2 116

Quelle: *Statistisches Bundesamt 2003*

VI 4.5 Abwasserbehandlung bei Wärmekraftwerken für die öffentliche Versorgung

Die nach der Nutzung in Wärmekraftwerken angefallene Abwassermenge (für 2001: ca. 25 Mrd. m^3) wird nahezu vollständig direkt in Oberflächengewässer eingeleitet. Dieses Abwasser besteht überwiegend aus Kühlwasser. Zwischen 1991 und 2001 ging die Kühlwassereinleitung um 14 % zurück (Abb. VI 4.5-1). Die Abwasserbehandlung (für 2001: ca. 52 Mio. m^3) von Kraftwerken der hier behandelten Kategorie ist von untergeordneter Bedeutung. Im Jahre 2001 waren aus der Abwasserreinigung der Wärmekraftwerke 111 910 t Klärschlamm zu beseitigen, die zum größten Teil aus der chemischen und chemisch-physikalischen Abwasserreinigung stammten.

Abb. VI 4.5-1: *Kühlwassereinleitung aus Wärmekraftwerken für die öffentliche Versorgung*



Quelle: *Statistisches Bundesamt 2003*

Abgeleitetes Kühlwasser, besonders aus der Kreislaufkühlung, ist für die Gewässer nicht unproblematisch, da aus technischen Gründen (zur Korrosionsverminderung, Härtestabilisierung, Bekämpfung von Mikro- und Makroorganismen etc.) Chemikalien eingesetzt werden.

Um die Gewässerbelastung in vertretbaren Grenzen zu halten, sind im Anhang 31 (Wasseraufbereitung, Kühlsysteme, Dampferzeugung) zur Abwasserverordnung Anforderungen gestellt worden. So dürfen außer Phosphonaten und Carboxylaten nur leicht abbaubare Komplexbildner eingesetzt werden. Nicht zulässig ist u.a. die Einleitung von Chrom-, Quecksilber- und metallorganischen Verbindungen.

Die Einleitung von Kühlwasser kann zu einer Erwärmung des Gewässers führen. Als ökologisch unbedenklich gelten dabei Erwärmungen bis 3 °C in Cypriniden [3] - und 1,5 °C in Salmoniden [4]-Gewässern. Allerdings darf die Abwärme nicht dazu führen, dass die Temperatur unterhalb der Einleitungsstelle 28 °C überschreitet. Bei Vorkommen von Arten, die zum Laichen kaltes Wasser benötigen, dürfen in der Laichzeit 10 °C nicht überschritten werden. Probleme mit Kühlwassereinleitungen bestehen derzeit noch besonders in solchen Gewässern, in die Einleitungen noch aus alten Genehmigungen erfolgen. Für stark wärmebelastete Gewässer wie Mosel und Saar bestehen Wärmelastpläne.

Die Kategorie „sonstiges Abwasser“ ist bezüglich der Abwassermenge zu vernachlässigen. Es handelt sich überwiegend um Kesselspeise- und Belegschaftsabwasser (Tab. VI 4.5-1).

Tab. VI 4.5-1: *Abwassereinleitung aus Wärmekraftwerken für die öffentliche Versorgung in Tsd. m^3 2001*

	1991	2001
Direkt- und Indirekteinleitung	28 461 040	24 478 991
unbehandeltes Abwasser	28 396 836	24 363 557
darunter Kühlwasser	28 320 300	24 328 859
produktionsspezifisches Abwasser	62 799	23 112
behandeltes Abwasser	58 492	52 349
ungenutztes Wasser	5 712	63086
Direkteinleitung	28 385 390	24 386 768
Indirekteinleitung	75 650	92 223

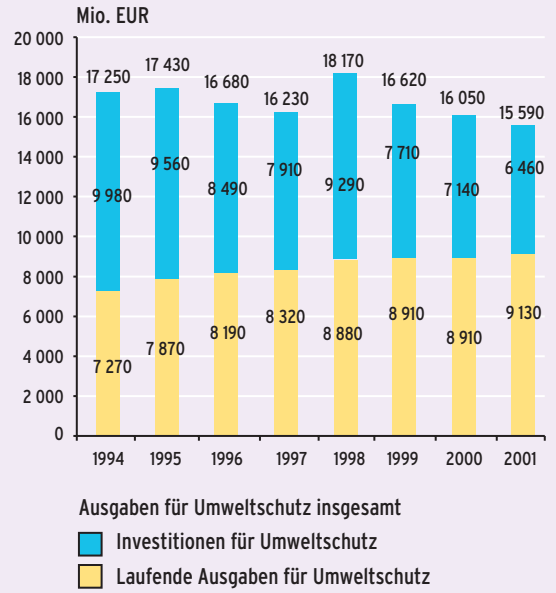
Quelle: *Statistisches Bundesamt 2003*

VI 4.6 Ausgaben des Produzierenden Gewerbes, des Staates und der privatisierten öffentlichen Unternehmen für den Umweltschutz in der Wasserwirtschaft

Das Statistische Bundesamt erfasst die Ausgaben der öffentlichen Hand sowie der Privatwirtschaft für den Umweltschutz. Nähere Informationen, so die Summe der einzelnen Ausgabenbereiche, sind dem Beitrag V 2 „Ausgaben des Produzierenden Gewerbes, des Staates und der privatisierten öffentlichen Unternehmen für den Umweltschutz in der Luftreinhaltung“ zu entnehmen.

Mit 15,6 Mrd. EUR wurden in 2001 fast 50 % der Umweltschutzausgaben für den Gewässerschutz aufgewandt. Die Investitionen machten etwa 41 % der Gesamtausgaben aus (Abb. VI 4.6-1).

Abb. VI 4.6-1: *Umweltschutzausgaben für Gewässerschutz*



Quelle: *Statistisches Bundesamt 2004*

[1] Jahresbericht der Wasserwirtschaft. Gemeinsamer Bericht der mit der Wasserwirtschaft befassten Bundesministerien – Haushaltsjahr 2000. In: Wasser & Boden, 53/7+8 (2001), S. 7

[2] Jahresbericht der Wasserwirtschaft. Gemeinsamer Bericht der mit der Wasserwirtschaft befassten Bundesministerien – Haushaltsjahr 2001. In: Wasser & Boden, 54/7+8 (2002), S. 5

[3] Karpfenartige

[4] Forellen-, Lachsartige

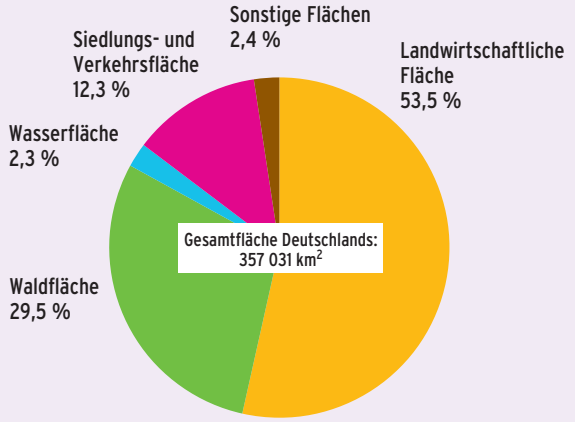
VII BODENSCHUTZ

VII 1 Flächennutzung/Siedlungsstruktur

VII 1.1 Struktur der Flächennutzung

Die Gesamtfläche Deutschlands betrug 2001 (d.h. am 31.12.2000) 35 703 099 ha ohne das gemeinschaftliche deutsch-luxemburgische Hoheitsgebiet (Abb. VII 1.1-1).

Abb. VII 1.1-1: *Flächennutzung 2001*[1)]



[1)] d. h. zum 31.12.2000

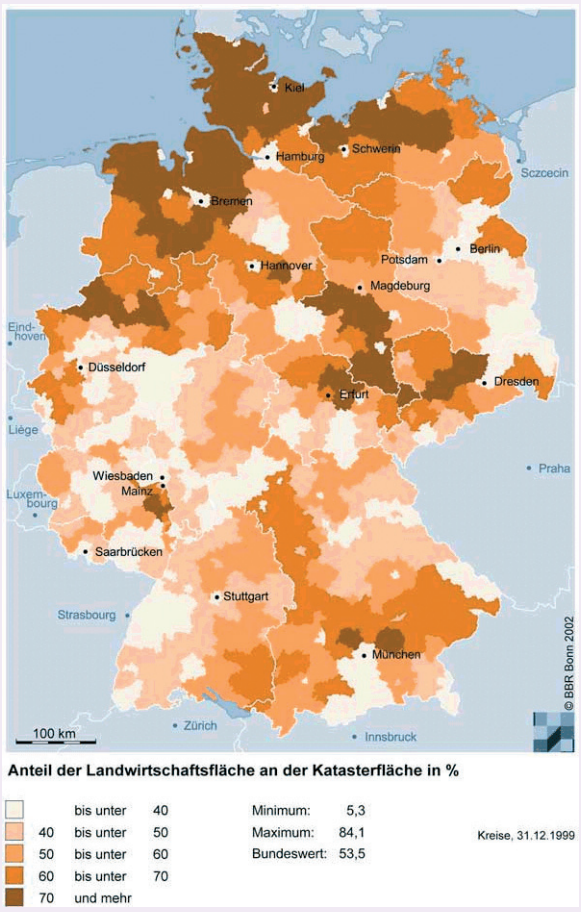
Quelle: *Statistisches Bundesamt 2003*

Der Anteil der Landwirtschaftsfläche (einschließlich Moor- und Heideflächen) an der Gesamtfläche in Deutschland betrug 2001 mit 19 102 791 ha (53,5 %) 0,6 %-Punkte weniger als 1997 (d.h. am 31.12.1996) mit 54,1 % und stellt damit flächenmäßig die Hauptnutzungsart (Abb. VII 1.1-2).

Die Abnahme der landwirtschaftlichen Anbaufläche erfolgte in der Vergangenheit kontinuierlich, besonders im Umland großer städtischer Verdichtungsräume. Der primäre Grund für diese Entwicklung ist das anhaltende Siedlungs- und Verkehrsflächenwachstum.

Obwohl einerseits viele Tier- und Pflanzenarten unmittelbar von landwirtschaftlicher Nutzung – häufig sind dies extensive Weidenutzungsformen – abhängig sind, können andererseits von landwirtschaftlich genutzten Flächen bei intensiver Bewirtschaftung hohe Belastungen auf den Naturhaushalt ausgehen: erhaltenswerte Biotope können gestört, Gewässer eutrophiert werden sowie Böden und Grundwasser weiteren Belastungen ausgesetzt werden. Ebenfalls führt der technische Strukturwandel (Einsatz großer landwirtschaftlicher Maschinen) in dem Primärsektor oftmals zur Ausräumung ökologisch wertvoller Landschaftsteile durch Beseitigung von Knicks, Wällen, Baumgruppen oder durch Begradigung der Gewässer sowie die Anlage landwirtschaftlicher Wegenetze.

Abb. VII 1.1-2: *Landwirtschaftsfläche 2000*

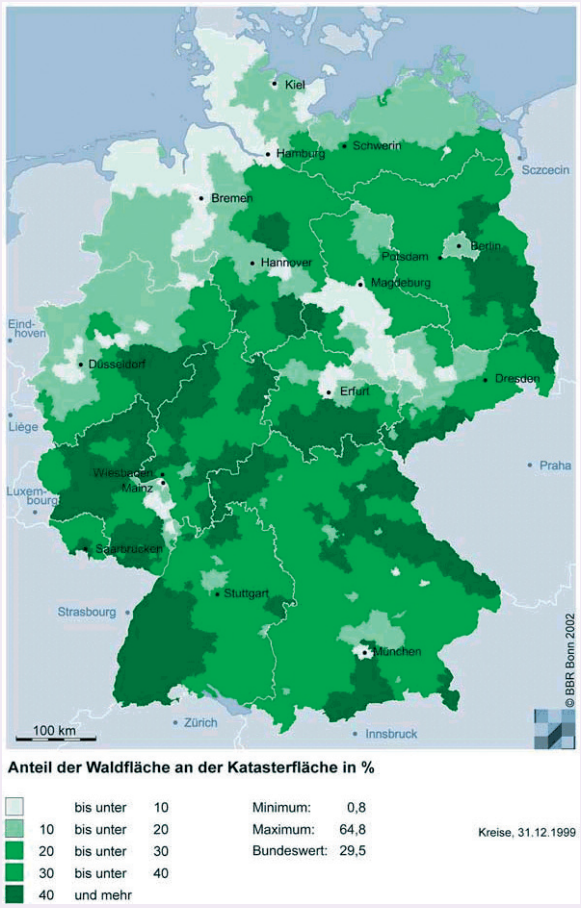


Quelle: *Statistisches Bundesamt 2000*

In Deutschland umfasste die Waldfläche 2001 mit 10 531 415 ha (29,5 %) 0,1 %-Punkte mehr als 1997 mit 29,4 %. In den zentralen Bereichen der großen Verdichtungsräume und in den intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebieten liegen geringe Waldanteile von weniger als 20 % der Gesamtfläche. Überdurchschnittliche Waldflächenanteile mit mehr als 60 % finden sich in den siedlungsarmen, für eine intensivere Landwirtschaft weniger geeigneten Mittel- und Hochgebirgslagen, etwa dem Harz, dem Thüringer Wald, dem Sauerland, der Eifel, dem Schwarzwald, dem Bayerischen Wald und in den Alpen (Abb. VII 1.1-3).

Den Waldflächen kommt neben Wasser-, Moor- und Heideflächen ein besonderer ökologischer Stellenwert (u.a. Grundwasserneubildung, Luftfilterung, Erosionsschutz) zu. Daneben dienen sie vorrangig den freiraumbezogenen Regenerations- und den Freizeitbedürfnissen der Bevölkerung.

Abb. VII 1.1-3: *Waldfläche 2000*



Quelle: *Statistisches Bundesamt 2000*

Die Wasserfläche nimmt mit einem Anteil von 2,3 % (808 462 ha) den geringsten Raum in Deutschland ein.

Der Grund für das Wachstum der Wasserflächen um 1,8 % oder um 14 448 ha liegt vor allem im Abbau von Rohstoffen wie beispielsweise Kies, Sand oder Braunkohle mit anschließender Flutung der Abbauflächen, in deren Folge eine Bergbaufolgelandschaft mit neuen Seen entsteht.

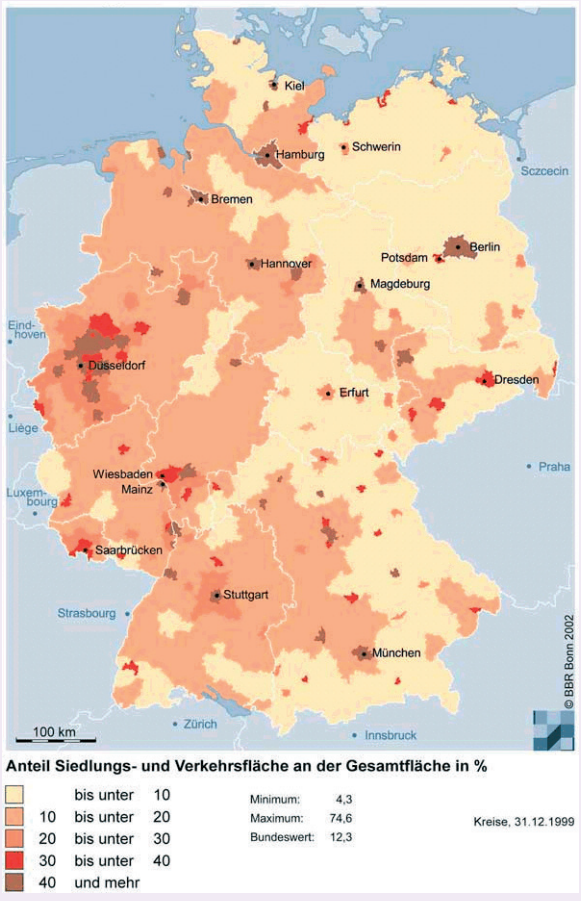
Die Siedlungs- und Verkehrsfläche (SuV) nahm 2001 (d.h. am 31.12.2000) mit 4 393 895 ha (12,3 %) 0,5 %-Punkte mehr Fläche in Anspruch als 1997. Sie stellt die drittgrößte Nutzungsart in Deutschland. Die Verteilung im gesamten Bundesgebiet ist regional sehr unterschiedlich und erreicht in den Kernstädten der Verdichtungsräume mehr als 50 %.

Trotz Konjunkturschwäche ist die Siedlungs- und Verkehrsfläche bis zum 31.12.2003 gegenüber dem 31.12.2000 um 115 194 ha gewachsen.

Die Siedlungs- und Verkehrsflächen teilen sich 2003 auf in 6,6 % Gebäude- und zugehörige Freiflächen, 4,9 % Verkehrsfläche und 0,8 % Erholungsfläche. Die Siedlungs- und Verkehrsfläche ist in etwa zur Hälfte versiegelt [1]; das sind ca. 2,3 Mio. ha oder 6,3 % des Bundesgebietes.

Neben den Stadtstaaten weisen Nordrhein-Westfalen mit 20 % und das Saarland mit etwa 19 % besonders hohe Siedlungsflächenanteile auf (Abb. VII 1.1-4). Abgesehen vom unmittelbaren Verlust vorher meist landwirtschaftlich genutzter Böden hat die zunehmende Inanspruchnahme von Fläche für Siedlung und Verkehr weitere Auswirkungen auf die Umwelt. Beispielhaft zu nennen ist der erhöhte Material- und Energieaufwand für neue Gebäude, eine weitere Zunahme des Kraftstoffverbrauchs und der Schadstoffemissionen durch erhöhtes Verkehrsaufkommen, Verlärmung sowie die Zerschneidung und Verinselung der Lebensräume für die wildlebende Flora und Fauna.

Abb. VII 1.1-4: *Siedlungs- und Verkehrsfläche 2000*



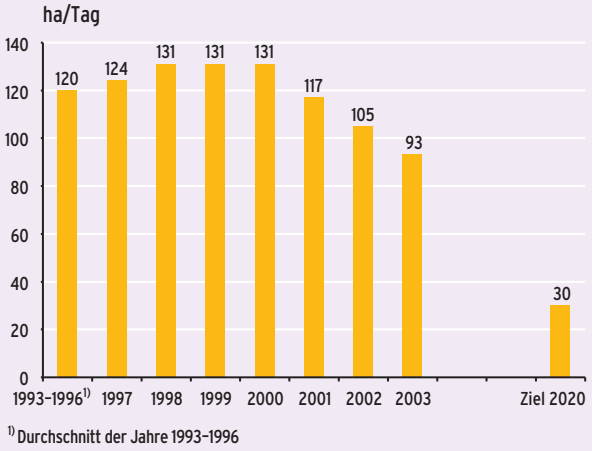
Quelle: *Statistisches Bundesamt 2000*

[1] Angaben zum Versiegelungsgrad der SuV lassen sich aus der amtlichen Flächenstatistik nicht ableiten. Nach Untersuchungen von 1996 auf der Grundlage der nationalen Ergebnisse der Flächenerhebung und von Versiegelungsstudien in Bayern und Nordrhein-Westfalen sind etwa 41 bis 59 % der SuV in Deutschland versiegelt. Quelle: Statistisches Bundesamt (Hrsg.) 2003: Umweltproduktivität, Bodennutzung, Wasser, Abfall, S. 19.

VII 1.2 Tägliche Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche

Der Zuwachs der Siedlungs- und Verkehrsfläche in Deutschland lag 2003 [1] mit 93 ha pro Tag nach wie vor sehr hoch. Er vollzieht sich weitgehend zu Lasten der landwirtschaftlich genutzten Flächen (Abb. VII 1.2-1).

Abb. VII 1.2-1: *Durchschnittliche tägliche Umwidmung von Freiflächen in Siedlungs- und Verkehrsfläche*



Quelle: *Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Statistisches Bundesamt 2003*

Nach der Teilerhebung 2003 ist zum dritten Mal in Folge die zusätzliche Inanspruchnahme bundesweit auf nunmehr 93 ha pro Tag gesunken. Bereits im Jahr 2001 war sie von 129 ha (1997–2000) auf 117 ha zurückgegangen [1].

Die höchsten Zunahmen der Siedlungs- und Verkehrsfläche haben – wie auch in früheren Jahren – die westlichen Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern und Niedersachsen. In einer ähnlichen Größenordnung liegen Sachsen-Anhalt, Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg. Dabei muss berücksichtigt werden, dass in den neuen Ländern z.T. die Zunahmen wegen statistischer Korrekturen bei Erholungs- und Betriebsflächen überschätzt wurden.

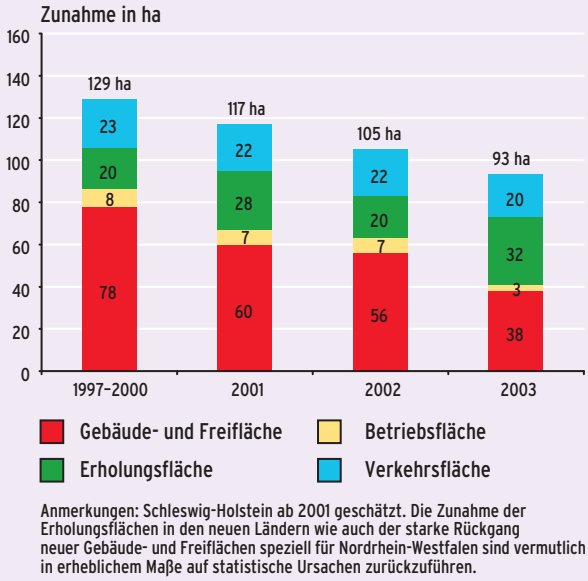
Die bundesweite Zunahme von 93 ha pro Tag teilt sich auf in rund 62 ha pro Tag auf die westlichen Bundesländer und rund 32 ha pro Tag auf die neuen Bundesländer.

In den alten Ländern befindet sich das Wachstum der Siedlungs- und Verkehrsfläche auf dem niedrigsten Stand seit 50 Jahren. Darin ist jedoch ein starker Rückgang der Neuausweisungen von Gebäude- und Freiflächen besonders in Nordrhein-Westfalen enthalten, der auf statistische Umschlüsselungen zurückzuführen ist. Der tatsächliche Rückgang, gemessen am langjährigen Mittel, wird dadurch überschätzt.

In den neuen Ländern lag das Wachstum 2003 nur knapp 2 ha niedriger als 2002. Bei den Gebäude- und Freiflächen ist eine rückläufige Zunahme zu verzeichnen. 2/3 der Zunahmen sind auf Erholungsflächen zurückzuführen. Hier muss jedoch davon ausgegangen werden, dass in erheblichem Maße statistische Korrekturen die Ursache sind und nicht reale Änderungen der Nutzungen [2], [3].

Die Zunahme der Gebäude- und Freiflächen, zu mehr als der Hälfte am SuV-Zuwachs beteiligt, ist deutlich rückläufig (Abb. VII 1.2-2). Vergleichsweise unterproportional nehmen die Verkehrsflächen mit nur noch rd. 20 % zu. Unerwünschte Umweltwirkungen sind jedoch auch damit verbunden, erwähnt sei vor allem die weitere Zerschneidung von Freiräumen und die Lärmbelästigung [4] (Kap. III und Kap. VIII).

Abb. VII 1.2-2: *Tägliche Veränderung der Siedlungs- und Verkehrsflächen*



Quelle: *Statistisches Bundesamt 2004*

Das stärkste Wachstum der Gebäude- und Freiflächen findet im Süden Deutschlands und um Metropolen statt. Allerdings verläuft die Entwicklung 2003 regional sehr unterschiedlich. Vergleichsweise hohe Zunahmen weisen Rheinland-Pfalz und Brandenburg mit je 1,1 %; Bayern, Hamburg und Niedersachsen mit je 1,0 %; Baden-Württemberg und Bremen mit je 0,9 % auf. Demgegenüber geringe Zuwachsraten wurden für Hessen (0,5 %), Sachsen (0,3 %), Nordrhein-Westfalen (nur 0,2 % wegen statistischer Umschlüsselungen) sowie Berlin und Thüringen mit je 0,1 % ermittelt [2].

Bis zum Jahr 2020 soll deshalb der Zuwachs der Siedlungs- und Verkehrsfläche (SuV) auf 30 ha pro Tag reduziert werden [5]. Von diesem Ziel der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie sind wir noch weit entfernt.

Der Rückgang der letzten Jahre ist allerdings im Wesentlichen konjunkturbedingt. Bei einem Anspringen insbesondere der Baukonjunktur ist mit einem erneuten Anstieg zu rechnen. Es werden erhebliche Anstrengungen erforderlich sein, um bei einer Wiederbelebung der Konjunktur einen Wiederanstieg der Flächeninanspruchnahme zu verhindern. Deshalb ist eine konsequente Weiterentwicklung von planerischen, rechtlichen und ökonomischen Instrumenten und ihre Umsetzung in der Praxis erforderlich. Zielführend ist auch die Nutzung der vielerorts vorhandenen Brachflächenpotenziale. Daneben ist die Entwicklung eines stärkeren Problembewusstseins in der Gesellschaft notwendig.

Angesichts der demografischen Entwicklung mit regional sehr unterschiedlichen Entwicklungstrends ist eine sparsame Flächeninanspruchnahme auch ein Beitrag zu einer nachhaltigen Wirtschafts- und Finanzpolitik, denn teure, künftigen Entwicklungen nicht angepasste Fehlinvestitionen können vermieden werden (Kap. VII 1.5).

[1] Statistisches Bundesamt 2003, 2004
[2] www.bbr.bund.de/raumordnung/siedlung/Flaechenerhebung_2004.htm
[3] UBA-Texte 90/03: Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr – Materialienband, Fußnote Seite 67
[4] Bergmann, Eckhard; Dosch, Fabian: Von Siedlungsexpansion zum Flächenkreislauf, Trendwende zum haushälterischen Umgang
In: Planerin, Fachzeitschrift für Stadt-, Regional- und Landesplanung, Heft 1_04, März 2004
[5] Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (Hrsg.): Fortschrittsbericht 2004: Perspektiven für Deutschland: Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. Berlin 2004

VII 1.3 Raumordnung in der Ausschließlichen Wirtschaftszone

Die traditionellen Nutzungen im Meer (Schifffahrt, Fischerei, Verklappungs- und Deponiegebiete, bergbauliche Nutzungen, militärische Übungsgebiete u. a.) konnten in den zurückliegenden Jahrzehnten nach sektoralen Fachplanungsgesetzen und Verordnungen geregelt werden. Neu hinzugekommene Nutzungen wie Offshore-Windenergieparks, Aqua-Kulturen u. a. haben jedoch einen Zustand geschaffen, in dem sich Nutzungsansprüche und Schutzansprüche wie die Natura-2000-Gebiete im Meer gegenüber stehen. Konflikte sind die Folge. Durch eine umfassende, abwägende und vorausschauende raumordnerische Planung können derartige Nutzungskonflikte koordiniert und – an Nachhaltigkeitskriterien orientiert – gelöst werden. Der Geltungsbereich des Raumordnungsgesetzes, der bereits für das Hoheitsgebiet des Küstenmeeres (12-Seemeilen-Zone) besteht, ist auf die Ausschließliche Wirtschaftszone (AWZ, 200-Seemeilen-Zone) ausgedehnt worden. Das Bundesministerium für Verkehr, Bauen und Wohnungswesen (BMVBW) wurde ermächtigt, unter Beteiligung der fachlich betroffenen Bundesministerien, u. a. des Umweltministeriums, Ziele und Grundsätze der Raumordnung in der deutschen AWZ aufzustellen (Raumordnungsgesetz (ROG) vom 24.07.04, BGBl I S. 1359). Die AWZ selbst gehört nicht zum Hoheitsgebiet der Bundesrepublik Deutschland. Nach dem Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen (SRÜ) von 1982 (BGBl 1994 II S. 1799) sind beschränkte Nutzungen möglich. Hierzu gehören:

- das souveräne Recht auf die Erhaltung der lebenden Meeresressourcen (Art. 56 und 61),
- das souveräne Recht auf die Nutzung der lebenden Meeresressourcen (Art. 56 und 62),
- das ausschließliche Recht auf die Erforschung des Festlandsockels und die Ausbeutung seiner nichtlebenden und lebenden Ressourcen (Art. 56 und 77),
- das souveräne Recht hinsichtlich anderer Tätigkeiten zur wirtschaftlichen Erforschung und Ausbeutung der AWZ wie der Energieerzeugung aus Wasser, Strömung und Wind (Art. 56),
- Hoheitsbefugnisse in Bezug auf den Schutz und die Bewahrung der Meeresumwelt (Art. 56).

Raumordnung auf dem Meer bedeutet, dass mit den für das Land (Onshore) entwickelten Instrumenten eine Raumordnung auf See (Offshore) zu etablieren ist. Die Spezifika des Meeresraumes sind hierbei zu berücksichtigen und bedingen eine Anpassung der bestehenden raumordnerischen Instrumente. Für die AWZ sind Raumordnungsstrategien einschließlich der Ausweisung von Eignungsgebieten für Windenergieparks in Abstimmung mit den Nachbarländern und Küstenländern zu entwickeln. Die Küstenländer Niedersachsen, Schleswig Holstein und Mecklenburg Vorpommern haben den Geltungsbereich ihrer Raumordungspläne auf das Küstenmeer (12 Seemeilen-Zone) ausgedehnt.

Für den Geltungsbereich der Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) wurden 2002 das Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) und die Seeanlagenverordnung (SeeAnlV) sowie im Juni 2004 das Raumordnungsgesetz (ROG) novelliert und damit an bestehende und zukünftige Planungsaufgaben angepasst.

Genehmigung nach Seeanlagenverordnung

Das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) genehmigt in der Nord- und Ostsee nach der Seeanlagenverordnung (SeeAnlV) die Errichtung, den Betrieb und die Nutzung von Anlagen (Bauwerke und künstliche Inseln) in der Ausschließlichen

Wirtschaftszone (AWZ) der Bundesrepublik Deutschland, die der Energieerzeugung aus Wasser, Strömung und Wind oder anderen wirtschaftlichen Zwecken dienen. Für diesen Bereich werden seit 1997 zahlreiche größere Projekte geplant, darunter viele große Offshore-Windparks, seit Strom aus Offshore-Windkraft vom Gesetzgeber gemäß § 7 EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) gefördert wird. Die Standorte der Anlagen sollen in den Eignungsgebieten liegen. Derzeit – Stand 01/2005 – liegen dem BSH hierzu 33 Anträge (27 Nordsee/6 Ostsee) vor, die zum Teil mehrere hundert einzelne Windenergieanlagen (WEA) umfassen. Das Umweltbundesamt ist als Träger öffentlicher Belange an dem Verfahren beteiligt.

Bis zum Jahr 2030 sollen in der Nord- und Ostsee in der deutschen Ausschließlichen Wirtschaftzone Windenergieanlagen mit insgesamt etwa 20 000 bis 25 000 MW installierter Leistung errichtet werden. Gemeinsam mit den an Land bis dahin errichteten Windparks könnten diese Anlagen dann etwa ein Viertel des deutschen Strombedarfs aus Windenergie erzeugen (Kap. I 4.4).

Integriertes Management der Küstengebiete (IKZM)

Mit der „Empfehlung des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2002 zur Umsetzung einer Strategie für ein Integriertes Management der Küstengebiete in Europa“ (2002/413/EG) werden die Mitgliedstaaten aufgefordert, eine nationale Strategie zur Umsetzung der Grundsätze des IKZM zu entwickeln. Bis Februar 2006 ist der Europäischen Kommission darüber zu berichten.

Die Empfehlung stützt sich auf die Forderung der Agenda 21 der UN-Konferenz über Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro 1992 (UNCED), derzufolge die Bewirtschaftung und Entwicklung der Meeres- und Küstenregionen nach neuen Ansätzen erfolgen soll, „die ihrem Inhalt nach indikativ und ihrer Wirkung nach vorbeugend und vorsorgend sind.“ Hierfür stellt die EU innerhalb des Förderprogramms INTERREG III B Kofinanzierungsmittel bereit. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat im August 2002 das Forschungsprogramm „Forschung für ein nachhaltiges Küstenmanagement“ aufgelegt. Zwei Verbundprojekte für das Oder-Mündungsgebiet und die Schleswig-Holsteinische Westküste sind bereits vergeben. Zusammen mit dem Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) hat das BMVBW im März 2003 das Forschungsprojekt „Auf dem Weg zur Nationalen Strategie im Integrierten Küstenzonenmanagement – Raumordnerische Perspektiven“ vergeben, das Vorschläge für eine nationale Strategie zum IKZM aus der Sicht der Raumordnung entwickeln soll.

Umsetzungsstrategien für ein integriertes Küstenzonenmanagement unter besonderer Berücksichtigung von Umweltbelangen in Deutschland entwickelt das UBA in Kooperation mit dem BMU. Grundlage ist die EU-Empfehlung 2002/413/EG. Die nationale Strategie zur Umsetzung des integrierten Küstenzonenmanagements wird bis zum Herbst 2005 erstellt. Die Bundesregierung erarbeitet derzeit eine nationale Strategie für das integrierte Management der Meeres- und Küstengebiete. Innerhalb der Bundesregierung koordiniert das BMU die Erarbeitung der Strategie, in enger Abstimmung mit den Küstenbundesländern und unter Beteiligung der Öffentlichkeit und Einbeziehung aller betroffenen Akteure. Unter www.ikzm-strategie.de ist eine nationale IKZM-Internetplattform eingerichtet, die dem Informationsaustausch dient.

VII 1.4 Stand der Regionalplanung

Die Regionalplanung, die von den Ländern durchgeführt wird, hat durch die im Raumordnungsgesetz (ROG vom 24.07.2004, BGBl I 3.1359) verbindlich festgelegten Leitvorstellungen erhebliche Lenkungswirkung bei der Berücksichtigung von Umweltbelangen in den Ländern und Regionen der Bundesrepublik. Damit soll die Landesplanung alle Belange berücksichtigen, um zu einer nachhaltigen Raumentwicklung zu gelangen.

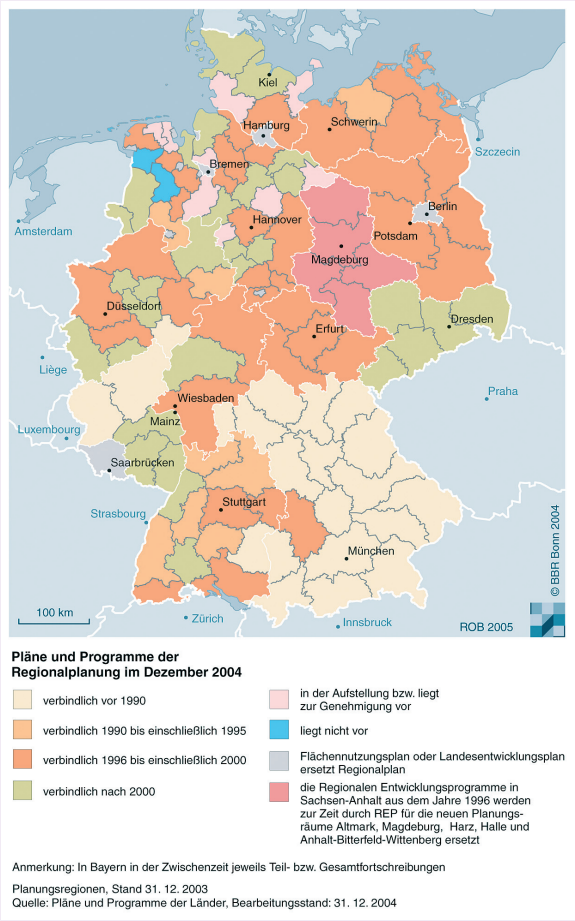
Dazu gehört u.a.:

- die freie Entfaltung der Persönlichkeit in der Gemeinschaft und in der Verantwortung gegenüber künftigen Generationen zu gewährleisten,
- die natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen und zu entwickeln,
- die prägende Vielfalt der Teilräume zu stärken,
- die Standortvoraussetzungen für wirtschaftliche Entwicklungen zu schaffen und
- gleichwertige Lebensverhältnisse in allen Teilräumen herzustellen.

Der Stand und die Qualität der Regional- und Landesplanung haben in der Bundesrepublik inzwischen einen hohen Stand erreicht. Ende 2004 lagen in fast allen Regionen verbindliche Regionalpläne vor (Abb. VII 1.4-1).

In den letzten Jahren hat das Umweltbundesamt Stellungnahmen zu vielen Regional- und Landesplanungen erarbeitet, bei denen es u.a. auch um besondere Anforderungen aus Sicht des Hochwasserschutzes oder der Nutzung erneuerbarer Energien ging. Exemplarisch seien für das Jahr 2004 genannt:

Abb. VII 1.4-1: *Stand der Regionalplanung*



Quelle: *Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung 2005*

- 35. Änderung des GEP für den Regierungsbezirk Düsseldorf, sachlicher Teilabschnitt „vorbeugender Hochwasserschutz“, 2004,
- Regionalplan Schwarzwald-Baar-Heuberg: Fortschreibung für die Kapitel „Regionales Gewerbegebiet“, „Rohstoff-Sicherung“, „Windenergie“, 2004,
- Gebietsentwicklungsplan für den Regierungsbezirk Köln – Sachlicher TA „Vorbeugender Hochwasserschutz“ – Teil 1: Regionen Köln, Bonn/Rhein-Sieg und Wassereinzugsgebiet der Erft, 2004,
- Änderungen des RROP 1995 des Zweckverbandes Großraum Braunschweig von 1998: „Vorrangstandorte für Windenergienutzung“, 2004,
- Entwurf zur Änderung des Landesentwicklungsplans Sachsen-Anhalt „Eignungsgebiete zur Nutzung von Windenergie“, 2004,
- Neuaufstellung des Raumentwicklungsprogramms Mecklenburg Vorpommern, Karte mit den im LEP Mecklenburg-Vorpommern vorgesehenen Eignungsgebieten für Windenergieanlagen im Küstenmeer, 2004,
- Landesraumordnungsprogramm Niedersachsen: Entwurf einer Änderung für den 12-Seemeilen-Bereich des Küstenmeeres, „Empfehlungen zur Festlegung von Vorrang- oder Eignungsgebieten für die Windenergienutzung“, 2004,
- Teiländerung des Regionalen Raumordnungsprogramms des Landkreises Verden (Vorrangstandort für Windenergie), 2004.

Nach dem Raumordnungsgesetz (ROG) müssen seit Juli 2004 alle neuen oder wesentlich geänderten Raumordnungspläne einer Umweltprüfung unterzogen werden (SUP nach EU-RL 2001/42/EG). In einem Umweltbericht sind die voraussichtlichen wesentlichen Auswirkungen der Planung auf die Umwelt zu ermitteln, zu beschreiben und zu bewerten. Die Öffentlichkeit und die Nachbarstaaten sind zu beteiligen. Erhebliche Auswirkungen auf die Umwelt sollen überwacht werden. Das Bundesministerium für Verkehr, Bauen und Wohnungswesen (BMVBW) wurde ermächtigt, unter Beteiligung der fachlich betroffenen Bundesministerien, u.a. des Umweltministeriums, Ziele und Grundsätze der Raumordnung in der deutschen Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) aufzustellen, hinsichtlich der wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Nutzung, der Gewährleistung der Sicherheit und Wichtigkeit der Seeschifffahrt sowie zum Schutz der Meeresumwelt.

Aus Umweltschutzsicht können die Verbesserung der Informationsgrundlagen und deren Bereitstellung im Beteiligungsverfahren eine Verbesserung bei den Entscheidungen und eine Akzeptanzerhöhung bewirken.

VII 1.5 Demographischer Wandel und Siedlungsstruktur

Der demographische Wandel in Deutschland hat mehrere Aspekte. Die Bevölkerung nimmt in den nächsten Jahrzehnten deutlich ab: Nach der 10. Koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes wird die Bevölkerungszahl unter bestimmten Annahmen von derzeit über 82 Mio. auf bis zu 67 Mio. bis 2050 zurückgehen (Tab. VII 1.5-1 und Abb. VII 1.5-1). Gleichzeitig nimmt die Zahl der älteren Menschen deutlich zu. Die Zahl der über 60-Jährigen steigt von 2001 bis 2050 von einem Viertel auf ein Drittel der Gesamtbevölkerung, die Zahl der über 80-Jährigen verdreifacht sich sogar fast. Gleichzeitig nimmt die Zahl der unter 20-Jährigen deutlich ab.

Gründe hierfür sind:

- Die Geburtenrate bleibt auf niedrigem Niveau,
- die Sterberate liegt über der Geburtenrate,
- die Lebenserwartung nimmt weiterhin zu.

Tab. VII 1.5–1: *Gebiet und Bevölkerung*

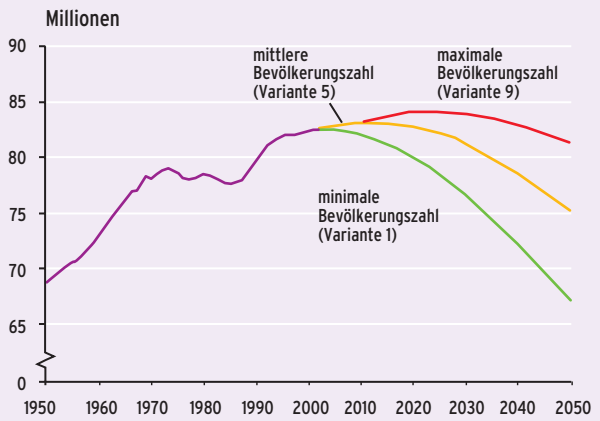
	Fläche km²	Bevölkerung[1] in 1 000			Einwohner je km²
		insgesamt	männlich	weiblich	
Jahr/Monat/Stichtag			**31.12.2003**		
Baden-Württemberg	35 751,65	10 693	5 247	5 445	299
Bayern	70 549,19	12 423	6 079	6 344	176
Berlin	891,75	3 388	1 651	1 737	3 800
Brandenburg	29 477,16	2 575	1 273	1 302	87
Bremen	404,23	663	321	342	1 640
Hamburg	755,16	1 734	843	891	2 296
Hessen	21 114,72	6 089	2 982	3 108	288
Mecklenburg-Vorpommern	23 174,17	1 732	858	874	75
Niedersachsen	47 618,24	7 993	3 915	4 078	168
Nordrhein-Westfalen	34 083,52	18 080	8 803	9 277	530
Rheinland-Pfalz	19 847,39	4 059	1 989	2 070	204
Saarland	2 568,65	1 061	516	546	413
Sachsen	18 413,91	4 321	2 103	2 219	235
Sachsen-Anhalt	20 445,26	2 523	1 231	1 292	123
Schleswig-Holstein	15 763,18	2 823	1 380	1 443	179
Thüringen	16 172,14	2 373	1 166	1 207	147
Deutschland	**357 030,32**	**82 532**	**40 356**	**42 176**	**231**

[1] Ergebnisse der Bevölkerungsfortschreibung

Quelle: Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2004

Schon heute gehört Deutschland weltweit zu den Staaten mit der niedrigsten Geburtenhäufigkeit: 1,38 (Tab. VII 1.5-2). In der Europäischen Union (der 15 Mitgliedstaaten) hatten im Jahr 2000 lediglich Italien mit 1,24, Spanien mit 1,23, Griechenland mit 1,29 sowie Österreich mit 1,34 niedrigere Geburtenziffern. Vergleichbare oder noch geringere Geburtenraten sind in acht weiteren von wirtschaftlichen und sozialen Umbrüchen gekennzeichneten Staaten zu beobachten: Tschechien 1,18, Estland 1,28, Ungarn, 1,38, Lettland 1,17, Litauen 1,38, Rumänien 1,32, Russische Föderation 1,25 und Ukraine 1,25. In den USA wurde Mitte der 70er Jahre ein Minimum der Geburtenziffer erreicht, danach stieg sie kontinuierlich an und schwankt seit 1989 zwischen 2,0 und 2,1. Prozesse, die auf ein grundsätzliches Umdenken zum Stellenwert von Kindern auf gesellschaftlicher und individueller Ebene ausgerichtet sind, sind langwierig und wirken sich erst in Jahrzehnten auf die Bevölkerungsentwicklung aus.

Abb. VII 1.5-1: *Entwicklung der Bevölkerungszahl in Deutschland*



Variante 9: Hohe Wanderungsannahme, hohe Lebenserwartungsannahme
Variante 5: Mittlere Wanderungsannahme, mittlere Lebenserwartungsannahme
Variante1: Niedrige Wanderungsannahme, niedrige Lebenserwartungsannahme

Quelle: *Statistisches Bundesamt 2003 a*

Eine zentrale Rolle beim demographischen Wandel spielen die Wanderungsbewegungen. Das Wachstum der Bevölkerung seit der Wende beruht in erster Linie auf den zum Teil hohen Zuwanderungsgewinnen aus dem Ausland. Ohne diese hätte Deutschland

Tab. VII 1.5-2: *Geburtenziffer in ausgewählten Staaten*

	1990	1995	2000
Europäische Union (15 Staaten)	1,57	1,42	1,48
Belgien	1,62	1,55	1,66
Dänemark	1,67	1,80	1,77
Deutschland	1,45	1,25	1,38
Finnland	1,78	1,81	1,73
Frankreich	1,78	1,70	1,88
Griechenland	1,39	1,32	1,29
Irland	2,11	1,84	1,89
Italien	1,33	1,18	1,24
Luxemburg	1,61	1,69	1,8
Niederlande	1,62	1,53	1,72
Österreich	1,45	1,40	1,34
Portugal	1,57	1,40	1,52
Schweden	2,13	1,73	1,54
Spanien	1,36	1,18	1,23
Vereinigtes Königreich	1,83	1,71	1,64
Island	2,30	2,08	2,10
Japan	1,54	1,42	1,41
Norwegen	1,93	1,87	1,85
Schweiz	1,59	1,48	1,50
USA	2,08	2,02	2,06

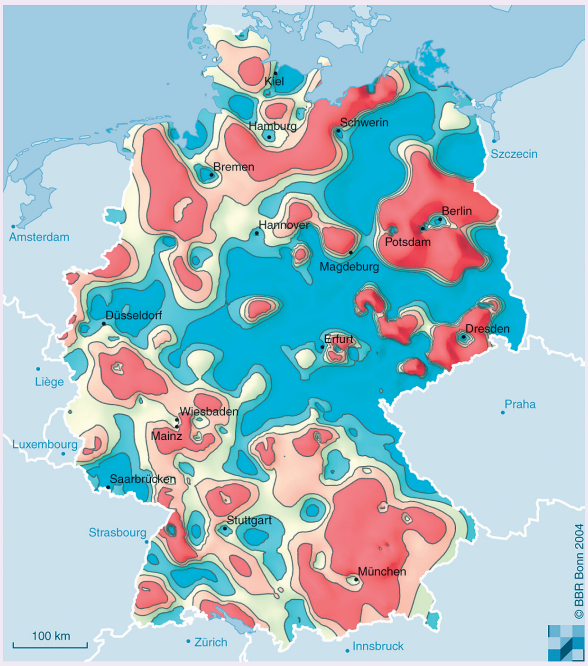
[1] Angaben nicht vorhanden

Quelle: *Eurostat 2003*

schon in den vergangenen Jahren einen deutlichen Bevölkerungsrückgang zu verzeichnen. Vornehmlich wirtschaftlich starke Regionen können hierdurch Bevölkerungsgewinne aufweisen [1].

Der demographische Wandel ist räumlich vielfältig ausgeprägt. Einer immer größer werdenden Gruppe von Landkreisen mit Schrumpfungstendenzen steht eine kleiner werdende Gruppe mit teils noch kräftigem Wachstum gegenüber. Wie die Abb. VII 1.5-2 nach einer Prognose des BBR zeigt, können vor allem Regionen im städtischen Umland mit höheren Bevölkerungsdichten und hier vor allem die alten Bundesländer Bevölkerungsgewinne verzeichnen („Wachstumsinseln"). Die neuen Bundesländer, vor allem jedoch ländliche dünn besiedelte Regionen, verlieren zunehmend junge qualifizierte Menschen, die in wirtschaftlich starke Regionen wandern. Der Altersdurchschnitt in den dünn besiedelten Regionen steigt damit deutlich über den Bundesdurchschnitt. Die Bevölkerung nimmt demnach sowohl im Osten als auch im Westen ab, jedoch mit unterschiedlicher Intensität.

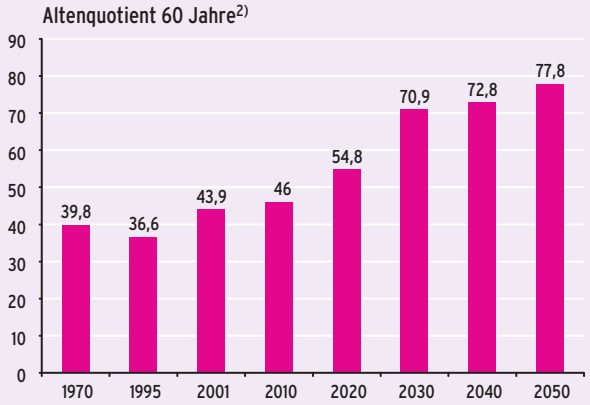
Abb. VII 1.5-2: *Veränderung der Bevölkerungszahl 1999–2020 in %*



Quelle: *Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung 2004*

Ein aussagekräftiger Indikator für die Alterung einer Gesellschaft ist der Altenquotient. Dieser misst die Relation der Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter zur Bevölkerung im Rentenalter. In Deutschland liegt der Altenquotient heute bei 44 Personen im Rentenalter je 100 Personen im erwerbsfähigen Alter, bis 2050 steigt er auf 78 je 100 Personen (Abb. VII 1.5-3). Die Zahl der Erwerbsfähigen wird nach einer Prognose des BBR bis 2020 auf 53,6 Mio. zurückgehen. (Abb. VII 1.5-4) [2].

Abb. VII 1.5-3: *Altenquotient bei einem Renteneintrittsalter von 60 Jahren*[1)]



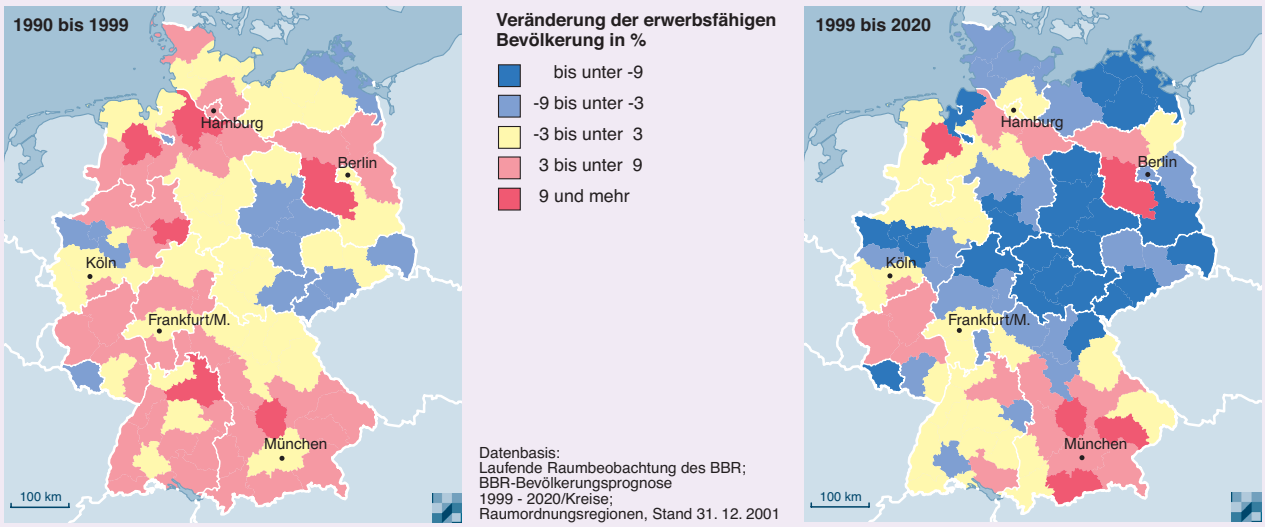
1) Ab 2002 Schätzwerte der 10. Koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung, Variante 5 „mittlere" Bevölkerung: Mittlere Wanderungsannahme W2 (jährlicher Saldo von mindestens 200 000) und mittlere Lebenserwartungsannahme L2 (durchschnittliche Lebenserwartung 2050 bei 81 bzw. 87 Jahren).

2) 60-jährige und ältere je 100 Personen im Alter von 20 bis 59 Jahren.

Quelle: *Statistisches Bundesamt 2003 a*

Obwohl die Bevölkerung abnimmt, wird die Zahl der Haushalte auch in Zukunft steigen. Veränderte Lebensformen und Familienstrukturen und besonders Alterung der Bevölkerung führen zu einer deutlichen Zunahme kleinerer Haushalte, und das in der Tendenz bundesweit, wenn auch regional unterschiedlich ausgeprägt. Nach einer Prognose des BBR steigt die Zahl der Haushalte bis 2020 um 2,9 %, das entspricht ca. 1,1 Mio. neuen Haushalten. 2020 werden fast drei Viertel aller Haushalte nur aus einer oder zwei Personen bestehen. Schon von 1970 bis 2000 war die durchschnittliche Haushaltsgröße in den alten Ländern von 2,74 auf 2,17 Personen gesunken und in Zukunft wird eine weitere Abnahme erwartet: 2020 auf 2,1 und 2050 auf 1,95 Personen pro Haushalt. Die zur Verfügung stehende Wohnfläche pro Kopf hat sich – bezogen auf das frühere Bundesgebiet – von 15 m^2/EW im Jahr 1950 auf 41,1 m^2/EW im Jahr 2003 fast verdreifacht. 2 % aller Haushalte verfügen über Zweit- oder Ferienwohnungen. Steigen die Einkommen weiter, so wird sich auch die Wohnungsnachfrage der Haushalte erhöhen. Der zunehmende Wohnflächenkonsum wird durch wachsende qualitative Wohnansprüche ergänzt, wodurch neben dem Neubedarf der Ersatzbedarf eine immer größere

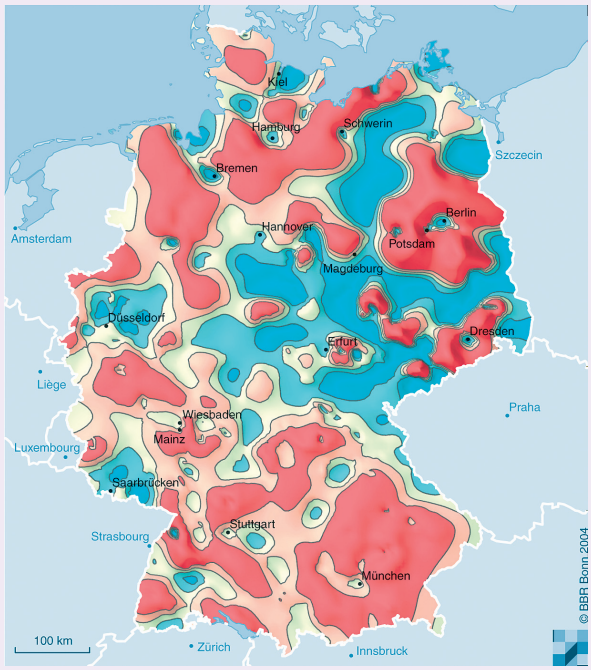
Abb. VII 1.5-4: *Veränderung der erwerbstätigen Bevölkerung 1990–2020 in %*



Quelle: *Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung 2004*

Rolle spielen könnte. Die dargestellten Trends lassen erwarten, dass sich trotz des Bevölkerungsrückgangs die Nachfrage nach Wohnraum allgemein erhöhen wird. Zugleich ist groß- und kleinräumig eine Differenzierung der Nachfrage zu erwarten [3] (Abb. VII 1.5-5).

Abb. VII 1.5-5: *Veränderung der Zahl der Haushalte 1999–2020 in %*



Quelle: *Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung 2004*

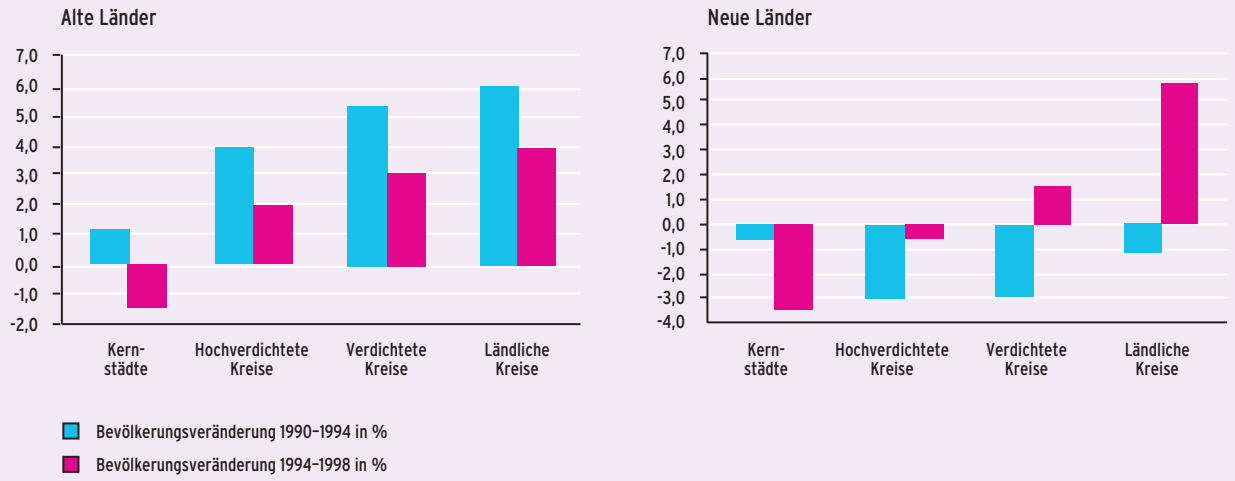
Die siedlungsstrukturellen Veränderungen sind vor allem auf die fortschreitende Suburbanisierung zurückzuführen. Die Stadt-Umlandwanderungen haben sich bis weit in die ländlich strukturierten Bereiche der Agglomerationsräume ausgedehnt. In den meisten Agglomerationsräumen leben heute mehr Menschen im Umland als in den Kernstädten.

Die Abbildung VII 1.5-6 veranschaulicht dieses Phänomen. Die größten Bevölkerungszuwächse und damit auch die höchsten Siedlungs- und Verkehrsflächenzuwächse hatten die weit von den Kernstädten entfernten ländlichen Kreise in den 90er Jahren zu verzeichnen, dies gilt sowohl für die alten wie für die neuen Länder. Gerade in diesen Teilräumen konkurriert die Siedlungsentwicklung mit dem Schutz großer zusammenhängender Freiräume (Kap. VIII).

In den neuen Ländern gab es bis zur Wende keine Suburbanisierung. Das hat sich Anfang der 90er Jahre geändert. Allerdings ist der Umfang der Wohnsuburbanisierung in einigen Regionen der neuen Länder aktuell rückläufig. Trotzdem finden nach wie vor Randwanderungsprozesse statt, durch die Entwicklungsmöglichkeiten der Kernstädte in den neuen Ländern zusätzlich beschränkt werden. Bevölkerungsverluste in Folge der Ost-West-Wanderungen werden überlagert von Bevölkerungs- und Beschäftigtenrückgängen, die auf das Konto der Randwanderung gehen. Äußeres Anzeichen dieses Prozesses sind massive Wohnungsleerstände. Zunehmend sind auch westdeutsche Regionen vom Bevölkerungsrückgang betroffen, besonders die altindustrialisierten Gebiete [4].

Die Veränderung der soziodemographischen Rahmenbedingungen in Deutschland stellt unsere Städ-

VII 1.5-6: *Bevölkerungsveränderungen in deutschen Agglomerationsräumen*



Quelle: *Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung 2003*

te und Regionen vor neue Herausforderungen. Angesichts der veränderten Nachfragemuster und Bedarfsgrößen wird es künftig verstärkt darum gehen, die vorhandenen Siedlungs-, Freiraum-, Verkehrs- und Versorgungssysteme den neuen Bedingungen anzupassen. Ziel muss es sein, die Funktions- und Leistungsfähigkeit der Städte und Regionen unter dem Leitbild der „Nachhaltigkeit" zu erhalten, zu stärken und weiterzuentwickeln. Zentrale Aufgabe der kommenden Jahre wird daher der „Stadtumbau" in Ost und West sein.

[1] Statistisches Bundesamt, 10. Koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung, Wiesbaden 2003
[2] Altenquotient: Börsch-Supan, Axel: Kann die Finanz- und Sozialpolitik die Auswirkungen der Bevölkerungsalterung auf den Arbeitsmarkt lindern? Papier für die Jahrestagung 2001 des Ausschusses für Finanzwissenschaft in Cottbus. Cottbus 2001. Zahl der Erwerbsfähigen: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung. Information zur Raumordnung 3/4 2004, S. 159
[3] Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.): Raumordnungsprognose 2020, Informationen zur Raumentwicklung, Heft 3/4, 2004
[4] www.bbr.bund.de/raumordnung/stadtregionen/umland.htm

VII 2 Stofflicher Bodenzustand

VII 2.1 Hintergrundwerte für anorganische Stoffe in Böden Deutschlands

Der Hintergrundgehalt eines Bodens wird durch den geogenen Grundgehalt eines Stoffes im Boden und der ubiquitären Stoffverteilung als Folge diffuser Einträge in den Boden bestimmt. Die geogenen (natürlichen) Grundgehalte von anorganischen Stoffen, besonders die Metallgehalte, werden geprägt von der Zusammensetzung der Ausgangsgesteine der Bodenbildung, ggf. von Vererzungen und der durch bodenbildende Prozesse bedingten Umverteilung (Anreicherung oder Verarmung) von Stoffen im Bodenprofil. Wichtige Einflüsse auf die ubiquitär vorhandene Stoffverteilung ergeben sich aus einer Vielzahl von Eintragspfaden. Hintergrundgehalte als ubiquitär/diffuse Stoffgehalte in Böden lassen sich i.d.R. von punktuell hohen Stoffgehalten (punktueller Emittentenfluß, Altlasten) abgrenzen.

Unter Vorsitz des Umweltbundesamtes hat eine Arbeitsgruppe der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten (SGD) und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) sowie den Landesumweltämtern die bei Bund und Ländern verfügbaren Daten in Abhängigkeit von den Ausgangsgesteinen der Bodenbildung, den Bodenhorizonten, Hauptnutzungsarten und siedlungsstrukturellen Gebietstypen ausgewertet und bundesweite sowie länderspezifische Hintergrundwerte für Oberböden, Unterböden und Untergrund abgeleitet. Diese Werte sind repräsentativ für allgemein verbreitete Hintergrundgehalte eines Stoffes oder einer Stoffgruppe in Böden.

Die Tabelle VII 2.1-1 enthält die bundesweiten Hintergrundwerte für anorganische Stoffe in Böden (90. Perzentilwerte) der in Deutschland vorherrschenden Bodenausgangsgesteine. Diese Hintergrundwerte stellen eine breite Basis für eine Aussage zu Hintergrundwerten von Böden in ländlichen Räumen dar. LABO (2003) [1] enthält darüber hinaus noch die Angabe der 50. Perzentilwerte und jeweils länderspezifische Hintergrundwerte sowohl für anorganische als auch für organische Stoffe in Böden, die durch Erhebungsprogramme der einzelnen Bundesländer ermittelt wurden (www.labo-deutschland.de).

Auf Grundlage flächenhaft vorliegender Informationen zur Landnutzung und zu Bodenausgangsgestei-

Tab. VII 2.1-1: *Bundesweite Hintergrundwerte für anorganische Stoffe in Böden (90. Perzentilwerte)*

	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Fluss- und Schotterablagerungen							
Acker Oberboden	0,69	33	31	0,22	29	47	75
Wald Oberboden	0,48	28	28	0,22	23	130	69
Unterboden	(0,14)	38	21	–	40	22	64
Sande							
Acker Oberboden – NW	0,3	20	13	0,06	7,6	23	41
Acker Oberboden – NO	0,42	13	11	0,13	9,3	38	39
Grünland Oberboden – NW	0,36	16	14	–	(7,5)	29	35
Grünland Oberboden – NO	0,35	17	15	(0,2)	12	48	44
Wald Oberboden – NW	0,74	17	13	0,26	10	86	32
Wald Oberboden – NO	0,32	7	8,5	0,17	6,9	41	25
Unterboden	(0,24)	15	7	0,05	9,4	12	24
Geschiebemergel/Geschiebelehme im Wechsel mit geringmächtigen sandigen Deckschichten							
Acker Oberboden	(0,26)	13	13	0,16	10	44	41
Wald Oberboden	(0,28)	9,1	7,2	–	5,9	33	32
Torfe							
Grünland org. Oberboden – NO	0,4	27	26	–	10	48	50
Unterboden/Untergrund	0,49	10	18	0,14	22	22	33
Geschiebemergel/Geschiebelehme							
Acker Oberboden – NO	0,25	16	13	0,13	18	29	45
Grünland Oberboden – NO	–	23	16	–	17	26	49
Wald Oberboden – S	0,49	26	17	–	–	54	68
Unterboden – N	(0,31)	22	15	0,11	22	31	47
Unterboden – S	0,31	40	29	0,19	48	28	79
Lösse							
Acker Oberboden	0,7	43	24	0,19	33	60	75
Grünland Oberboden	0,7	32	25	0,22	34	61	100
Wald Oberboden	0,55	37	19	0,25	24	99	65
Unterboden	(0,23)	46	21	0,11	38	26	63
Sandlösse							
Acker Oberboden	0,45	25	20	0,17	15	41	49
Wald Oberboden	–	29	18	–	10	151	41
Unterboden	(0,18)	25	11	0,06	14	17	32
Periglaziäre Deckschichten über Carbonatgesteinen							
Acker Oberboden	0,59	56	45	0,23	59	60	102
Grünland Oberboden	1,19	60	34	0,16	54	63	130
Wald Oberboden	1,6	48	32	0,26	43	115	172
Unterboden– lösslehmreich	0,55	45	25	0,19	44	52	84
lösslehmarm	0,67	65	39	0,19	70	68	137
Periglaziäre Deckschichten über Tongesteinen							
Acker Oberboden	0,94	57	45	0,17	70	85	158
Grünland Oberboden	0,67	57	33	0,2	68	99	141
Wald Oberboden	0,6	54	31	0,32	56	205	129
Unterboden– lösslehmreich	0,31	52	25	0,14	58	48	107
lösslehmarm	0,34	59	40	0,15	66	53	124
Periglaziäre Deckschichten über Sandsteinen							
Acker Oberboden	0,37	40	23	0,17	26	48	82
Grünland Oberboden	0,33	33	13	0,13	22	33	63
Wald Oberboden	0,34	27	12	0,23	20	94	60
Unterboden– lösslehmreich	(0,34)	35	19	0,14	28	42	70
lösslehmarm	(0,33)	27	10	0,12	22	25	51
Periglaziäre Deckschichten über intermediären und basischen Magmatiten und Metamorphiten							
Acker Oberboden	0,77	355	69	0,15	248	59	158
Grünland Oberboden	0,92	228	64	–	222	79	179
Wald Oberboden	1,04	278	71	0,38	221	129	171
Basische Magmatite und Metamorphite							
Unterboden– lösslehmreich	0,53	145	63	0,1	208	42	139
lösslehmarm	0,59	240	79	0,13	332	40	173
Periglaziäre Deckschichten über sauren Magmatiten und Metamorphiten							
Acker Oberboden	0,94	40	40	0,25	34	143	151
Grünland Oberboden	1,15	51	52	0,23	34	131	146
Wald Oberboden	0,91	40	31	0,27	33	189	104
Granite und Rhyolithe							
Unterboden– lösslehmreich	–	–	28	–	–	–	79
lösslehmarm	0,39	28	30	0,14	28	59	93
Gneise							
Unterboden– lösslehmarm	0,25	65	45	0,59	52	41	121
Glimmerschiefer							
Unterboden– lösslehmarm	–	67	45	–	67	56	190

Anmerkungen zur Tabelle:
1. Die Hintergrundwerte beziehen sich auf das 90. Perzentil.
2. Die Hintergrundwerte für Oberböden gelten für folgende nutzungsspezifische Oberboden-Horizonte: Acker – Ap-Horizonte (ca. 0–30 cm); Grünland – Ah-Horizont (ca. 0–10 cm); Wald – Ah-Horizont (ca. 0–10 cm).
3. Lösslehmanteile der periglazialen Deckschichten: lössreich > 25–100 %; lössarm 0–25 %
4. Die Hintergrundwerte beziehen sich auf Königswasser extrahierbare Stoffgehalte.
5. (...) liegen die 50er Perzentilwerte im Bereich der analytischen Bestimmungsgrenze, sind die 90er Perzentilwerte statistisch nicht gesichert und wurden daher in Klammern gesetzt.

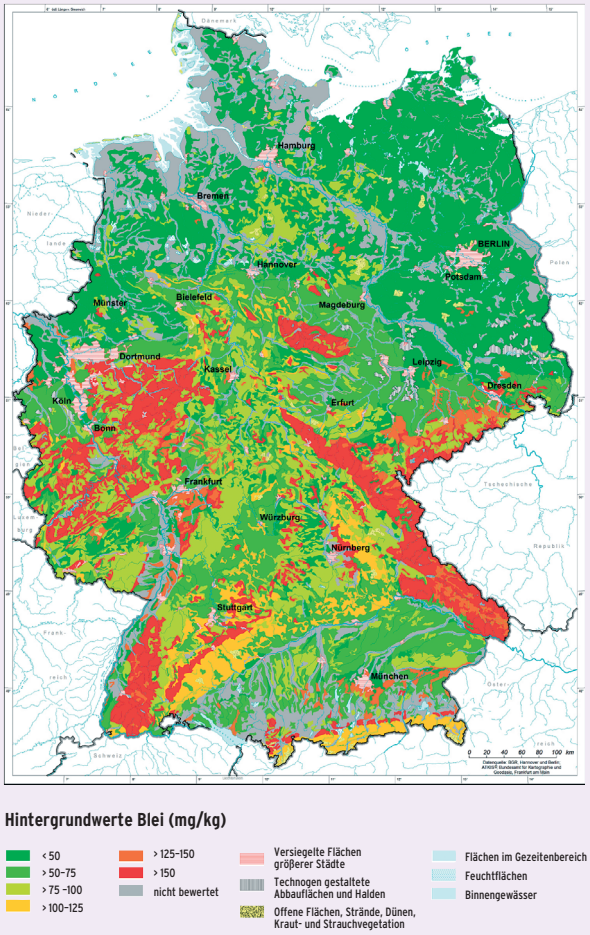
Quelle: *Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz 2003*

nen lassen sich die repräsentativ abgeleiteten Hintergrundwerte anorganischer Stoffe in Böden in Karten darstellen. Die Abbildungen VII 2.1-1 und VII 2.1-2 zeigen beispielhaft die Hintergrundwerte für Blei in Ober- und Unterböden. Maßstabsbedingt gehen bei der Darstellung kleinräumige Differenzierungen, wie kleinräumig vergesellschaftete lithologische Einheiten und Bodeneinheiten sowie Tiefendifferenzierungen verloren. In Unterböden werden die mittleren Bleigehalte über die gesamte Tiefe des jeweiligen Unterbodens berechnet.

Um eine dem Maßstab angepasste Übersichtlichkeit zu gewährleisten, wurden die 90. Perzentilwerte der Bleigehalte in Oberböden in sechs Klassen gruppiert. Für den direkten Vergleich mit Unterböden wurde diese Klassifizierung übernommen. Der Vergleich zwischen den Karten zeigt den anthropogenen Einfluss auf die Hintergrundwerte von Blei.

[1] „Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO), Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. Anhang, 3. überarbeitete und ergänzte Auflage, 2003“

Abb. VII 2.1-1: *Bundesweite Hintergrundwerte für Blei in Oberböden (90. Perzentilwerte)*



Quelle: *Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 2004*

Abb. VII 2.1-2: *Bundesweite Hintergrundwerte für Blei in Unterböden (90. Perzentilwerte)*



Quelle: *Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 2004*

VII 2.2 Belastung der Böden mit Dioxinen

Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F) wurden nie gezielt hergestellt. Vielmehr entstehen sie bei der Herstellung von chlorierten organischen Verbindungen wie z. B. Polychlorierte Biphenylen (PCB) und Pentachlorphenol. Bei der Produktion von Zellstoff sowie bei allen thermischen Prozessen wie der Metallgewinnung und dem Metallrecycling, dem Hausbrand und der Abfallverbrennung werden diese Stoffe unbeabsichtigt gebildet. Wegen ihrer hohen chemischen, physikalischen und biologischen Stabilität gehören sie zu den persistenten organischen Verbindungen (Persistent Organic Pollutant (POP).

Seit Anfang der 90er Jahre werden in der Datenbank DIOXINE des Bundes und der Länder die Gehalte an polychlorierten Dibenzodioxinen und -furanen (PCDD/F) von über 2 500 Bodenproben aus verschiedenen Messprogrammen dokumentiert [1]. Für die Ermittlung der durchschnittlichen Hintergrundbelastung in Böden wurden aus dem Gesamtdatenbestand die Messergebnisse der Boden-

proben ohne eine besondere Belastung ausgewählt. Die Auswertung der Bodenproben erfolgte nach Horizonten, nach Gebietstyp anhand der Klassifizierung der ehemaligen Bundesanstalt für Landeskunde und Raumordnung (BFLR) und nach Nutzungsart. Die Homologenprofile (jeweils die Summe der 4fach bis 8fach chlorierten Dioxine) wurden aus den Medianwerten der Profile für die drei Nutzungsarten (Wald, Grünland und Acker) erstellt.

Aus den gemessenen Konzentrationen der PCDD/F-Kongenere wurden die Toxizitätsäquivalente (TEQ) berechnet (Tab. VII 2.2-1). Die PCDD/F-Kongenere, deren Konzentration kleiner oder gleich der Nachweisgrenze waren, wurden dabei nicht berücksichtigt (gleich Null gesetzt).

Bewertung

Die Auswertung der Bodenproben aus der Dioxin-Datenbank von Böden ohne besondere Belastung führen zu folgenden Ergebnissen: Der Median aller untersuchten Horizonte ergibt 4 ng I-TEQ/kg TM, das 90. Perzentil liegt bei 26, der Maximalwert bei 112. Die meisten Messergebnisse liegen von Oberböden (A-Horizonte) vor, mit einem Median von 3 ng/kg I-TEQ/kg TM und dem 90. Perzentil von 16 ng/kg I-TEQ/kg TM (Abb. VII 2.2-1). Die organischen Auflagen im Wald weisen die höchsten Werte auf mit einem Median von 17 ng I-TEQ/kg TM und einem 90. Perzentil von 43. Die Auswertung mineralischer Oberböden nach Gebietstyp (BBR-Typ: Agglomerationsraum, verstädterter Raum, ländlicher Raum) ergibt keine signifikanten Unterschiede. Die Medianwerte liegen zwischen 1 und 3 ng/kg I-TEQ/kg TM und das 90. Perzentil zwischen 8 und 16 ng/kg I-TEQ/kg TM (Abb. VII 2.2-2). Die gemessenen PCDD/F-Konzentrationen von landwirtschaftlich genutzten Ackerböden liegen überwiegend unter dem von der Bund/Länder Arbeitsgruppe DIOXINE empfohlenen Zielwert für eine uneingeschränkte landwirtschaftliche Nutzung von 5 ng I-TEQ/kg TM (Abb. VII 2.2-3).

Die Homologenprofile zeigen eine Zunahme der Konzentration von den vierfach chlorierten (TeCDD) zu den achtfach chlorierten Dioxin-Homologen (OCDD). In Ackerland und Grünland dominieren die OCDD mit einem Anteil von fast 30 %. Im Waldboden liegen die Anteile der vierfach (TCDF) und fünffach chlorierten (PeCDF) Furane mit einem Anteil von 19,7 % deutlich über der OCDD-Konzentration mit einem Anteil von 14,5 % (Abb. VII 2.2-4).

Im Boden findet kaum ein Abbau der Dioxine statt, durch die Bearbeitung werden sie dort nur verteilt (Verdünnungseffekt). Das erklärt auch die hohen Konzentrationen im Wald, da hier über die Bäume vermehrt Dioxine aus der Luft ausgekämmt werden und keine Bodenbearbeitung stattfindet. Über den Boden gelangen die Dioxine in die Nahrungskette. Allerdings ist eine direkte Aufnahme in die Pflanze außer bei Zucchini minimal. Die Kontamination findet hauptsächlich über an den Pflanzen anhaftenden Bodenpartikeln statt. Daher wird bei erhöhten Dioxinkonzentrationen empfohlen, auf eine Nutzung als Viehweide zu verzichten. Der Pfad Pflanze – Futtermittel – Kuh führt zu einer Belastung der Milch, die als Lebensmittel in Deutschland mit 30 bis 50 % zur Dioxinaufnahme des Menschen beiträgt. Die in Frauen im Fett gespeicherten Dioxine führen über die Plazenta und über die Muttermilch zu einer erheblichen Belastung des Kindes. Daher

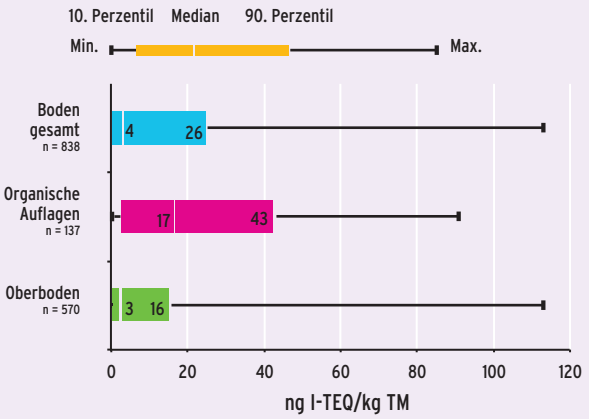
Tab. VII 2.2-1: *Internationale toxische Äquivalenzfaktoren nach NATO-CCMS[1)] (I-TEF, 1988) und der Weltgesundheitsorganisation (WHO-TEF, 1998)*

Polychlorierte Dibenzodioxine (PCDD)	I-TEF	WHO-TEF	Polychlorierte Dibenzofurane (PCDF)	I-TEF	WHO-TEF
2,3,7,8-TCDD	1	1	2,3,7,8-TCDF	0,1	0,1
1,2,3,7,8-PeCDD	**0,5**	**1**	1,2,3,7,8-PeCDF	0,05	0,05
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,1	0,1	2,3,4,7,8-PeCDF	0,5	0,5
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,1	0,1	1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	0,1
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,1	0,1	1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,1	0,1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01	0,01	1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,1	0,1
OCDD	**0,001**	**0,0001**	2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,1	0,1
			1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	0,01
			1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01	0,01
			OCDF	**0,001**	**0,0001**

[1)] North Atlantic Treaty Organization, Committee on Challenges of modern Society
Toxizitätsäquivalentfaktoren (TEF) geben die relative Wirkung im Verhältnis zu 2,3,7,8, TCDD an. Die Konzentration eines Kongeners wird mit diesem Faktor multipliziert. Die Werte werden addiert zu einer Toxizitätsäquivalentkonzentration (TEQ). Dies ist ein Maß für die toxische Wirkkonzentration. Die Faktoren werden anhand von Studien ermittelt und von Fachgremien aktualisiert. Die letzte Aktualisierung wurde von der WHO 1998 durchgeführt. Unterschiedliche Faktoren von NATO-CCMS und WHO sind in der Tabelle fett gedruckt.

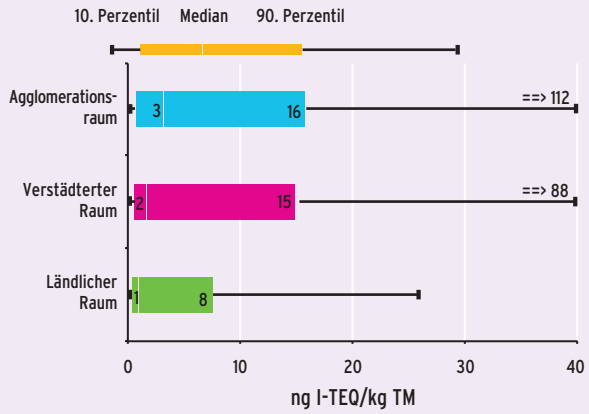
Quelle: *North Atlantic Treaty Organization 1998*

Abb. VII 2.2-1: *PCDD/PCDF-Gehalte (ng I-TEq/kg TM) in unbelasteten Böden ohne Einberechnung der Nachweisgrenze (modifizierter Box-Whisker-Plot, Zahlen in der Grafik = Median, 90. Perzentil)*



Quelle: *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2002*

Abb. VII 2.2-2: *PCDD/F-Gehalte (ng I-TEQ/kg TM) in mineralischen, unbelasteten Oberböden verschiedener Gebietstypen ohne Einberechnung der Nachweisgrenze (modifizierter Box-Whisker-Plot, Zahlen in der Grafik = Median, 90. Perzentil)*



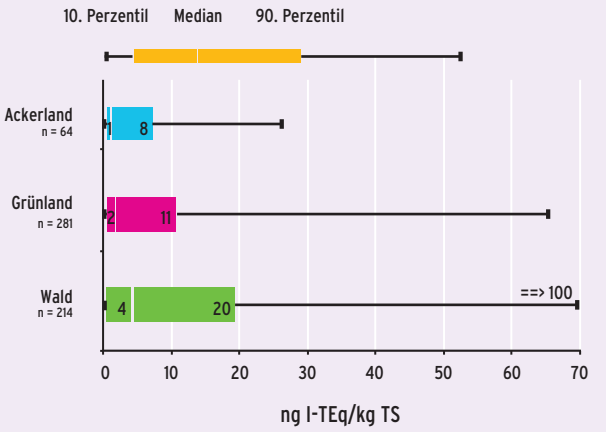
Quelle: *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2002*

müssen auch zukünftig Maßnahmen ergriffen werden, die Dioxin-Kontamination der Umwelt noch weiter zu senken.

Maßnahmen

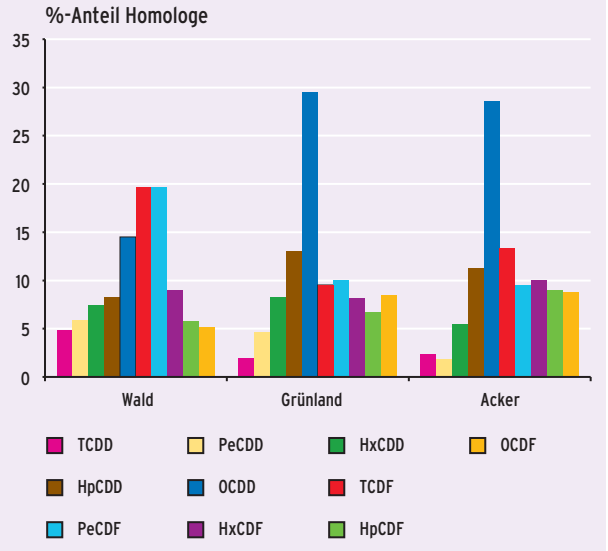
Für den Schutz des Bodens wurden rechtliche Regelungen getroffen, die den Eintrag in den Boden reduzieren, z.B. müssen Dioxin-Emissionen aus Verbrennungsanlagen den Grenzwert von 0,1 ng I-TEQ/m^3 Luft einhalten (Bundesimmissionsschutzverordnung 17. BImSchV 1990). Klärschlamm darf nur auf den Boden aufgebracht werden, wenn der Dioxingehalt weniger als 100 ng I-TEQ/kg Trockensubstanz beträgt (Abfall-Klärschlammverordnung 1997). Für die landwirtschaftliche und gärtnerische Nutzung des Bodens gibt es Empfehlungen der Bund/Länder-Arbeitsgruppe Dioxine und in der Bodenschutzverordnung sind Maßnahmenwerte für unterschiedliche Nutzungen festgelegt (Tab. VII 2.2-2).

Abb. VII 2.2-3: *PCDD/PCDF-Gehalte (ng-TEq/kg TM) in unbelasteten Oberböden in Abhängigkeit von verschiedenen Nutzungsarten ohne besondere Belastungssituation (modifizierter Box-Whisker-Plot, Zahlen in der Grafik = Median, 90. Perzentil)*



Quelle: *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2002*

Abb. VII 2.2-4: *Homologenprofile der PCDD/F-Konzentrationen in Wald-, Grünland- und Ackerböden*



Quelle: *Umweltbundesamt 2002*

[1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Dioxine-Daten aus Deutschland. Daten zur Dioxinbelastung der Umwelt, 3. Bericht der Bund/Länder-Arbeitsgruppe Dioxine; Dioxin-Referenzmessprogramm 4. Bericht der Bund/Länder-Arbeitsgruppe Dioxine. Die Berichte sind in Deutsch und Englisch im UBA-Portal „Persistente organische Stoffe, Dioxine“ eingestellt unter http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/dioxine-dbla.htm.

Tab. VII 2.2-2: *Rechtliche Regelungen und Empfehlungen für die Bewertung von Dioxinen und Furanen in Böden*

Bundesbodenschutz-Verordnung vom 12.7.1999: Maßnahmenwerte	
Kinderspielflächen	100 ng I-TEQ/kg TM
Wohngebiete	1 000 ng I-TEQ/kg TM
Industrie, Gewerbe	10 000 ng I-TEQ/kg TM
Empfehlungen der Bund/Länder AG Dioxine zur landwirtschaftlichen und gärtnerischen Bodennutzung	
Keine Nutzungseinschränkungen	< 5 ng I-TEQ/kg TM
Einschränkung bei Weide[1)]	5 bis 40 ng I-TEQ/kg TM
Eingeschränkte Nutzung	> 40 ng I-TEQ/kg TM

[1)] Falls der Belastungswert über 5 ng I-TEQ/kg TM liegt, soll die Ursache ermittelt werden.

Quelle: *Umweltbundesamt 2005*

VII 3 Einträge von Schadstoffen

VII 3.1 Einträge von Luftschadstoffen

Den wichtigsten Eintragspfad für Luftschadstoffe in Böden, Vegetation und Oberflächengewässer bildet die Ablagerung oder „Deposition“ aus der Atmosphäre. In niederschlagsfreien Zeiträumen erfolgt diese direkt oder „trocken“, z. B. durch Sedimentation, Adsorption, turbulente Diffusion. Die „Auswaschung“ von Luftschadstoffen durch den nassen Niederschlag (Regen, Schnee) führt zur sog. „nassen“ Deposition. Für die Wechselwirkung mit der Vegetation ist darüber hinaus die „feuchte“ Deposition mit Nebel, Tau, Reif von besonderer Bedeutung.

Je nach ihrer physikalisch-chemischen Beschaffenheit werden Luftverunreinigungen in der Atmosphäre unterschiedlich weit verbreitet. Hierbei spielen Transportvorgänge und chemische Reaktionen eine bedeutende Rolle. Typische Verweilzeiten reaktiver Luftverunreinigungen wie SO_2, NO_x und NH_3 in der Atmosphäre betragen zwischen einigen Stunden und einigen Tagen. In dieser Zeit können die Luftverunreinigungen europaweit verbreitet werden, bevor die Abscheidung durch Depositionsvorgänge wirksam wird. Der Ort der Deposition kann daher von dem der Emission weit entfernt sein.

In Mitteleuropa trägt die nasse Deposition durch Regen und Nebelniederschlag in erheblichem Maße zur Beseitigung von Luftschadstoffen aus der Atmosphäre bei. Die chemische Zusammensetzung des in Zentraleuropa überwiegend sauren Niederschlags wird durch eine Vielzahl von gas- und partikelförmigen Substanzen in der Atmosphäre (z. B. SO_2, NO_x und NH_3 sowie deren Folgeprodukte) bestimmt.

Seit einigen Jahren werden Säureeinträge in Deutschland und weiten Teilen Europas durch Stickstoffeinträge dominiert. Reduzierte Stickstoffverbindungen (Ammoniak/Ammonium) allein tragen derzeit im nationalen Mittel mehr zur Versauerung von Ökosystemen bei als Schwefel, und gerade in hochbelasteten Gebieten dominiert Ammoniak/Ammonium die Säureeinträge in besonderem Maße. Ammoniak/Ammonium aus der Landwirtschaft (z. B. Intensivtierhaltung) ist somit in Deutschland und in weiten Teilen Europas der wichtigste versauernde und eutrophierende Luftschadstoff. Dieser Trend wird sich angesichts der gegenwärtigen Entwicklungen fortsetzen.

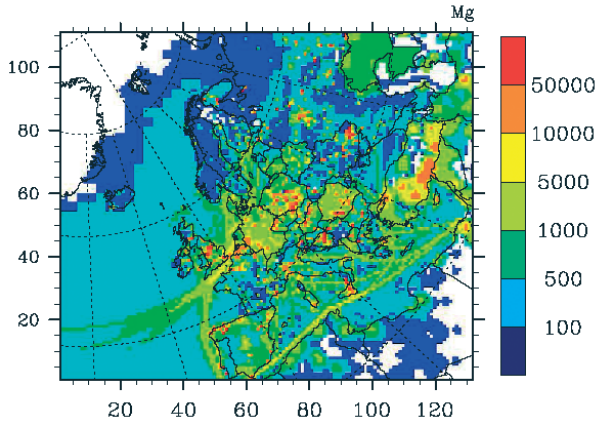
Europaweite Emissionen und internationale Zusammenarbeit im europäischen Umweltüberwachungsprogramm EMEP

Da Umweltbelastungen nicht an Grenzen Halt machen, erfordert ein wirksamer Umweltschutz die Zusammenarbeit über Staatsgrenzen hinaus. Dies zeigt sich besonders deutlich bei den atmosphärischen Transporten und den europaweiten Belastungen von terrestrischen, aquatischen und marinen Ökosystemen durch Luftverunreinigungen. Mit dem Übereinkommen vom 13. November 1979 über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung (Genfer Luftreinhaltekonvention) wurde die Grundlage geschaffen, die grenzüberschreitenden Luftverunreinigungen zu erfassen und in Protokollen zum Übereinkommen Verpflichtungen zur Reduzierung der Emissionen festzusetzen (SO_2-, NO_x-, VOC-, Schwermetall-, POP-Protokoll, 2. Schwefel-Protokoll, Multikomponenten-Protokoll). Die Ausbreitung der Schadstoffe in Europa wird im Rahmen des europäischen Umweltüberwachungsprogramms EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) berechnet.

Grundlage für gezielte Emissionsminderungsmaßnahmen und zugleich Instrument zum Nachweis der Effizienz durchgeführter Maßnahmen bilden Messungen der Immissionskonzentrationen und Depositionen (einschließlich Datenaufbereitung, -bewertung und -austausch) und Modellrechnungen zum grenzüberschreitenden Transport und zur Deposition luftverunreinigender Stoffe auf der Basis von Emissionsdaten und meteorologischen Daten.

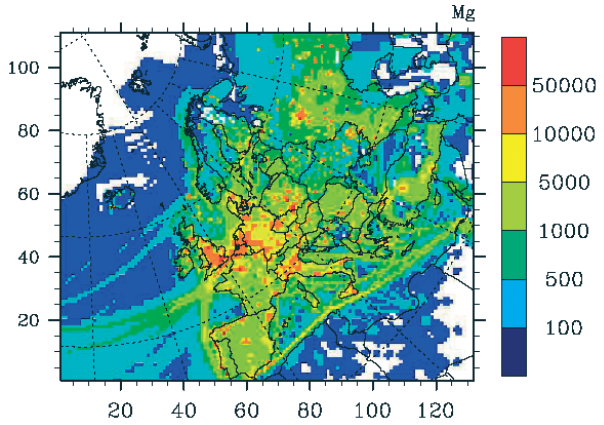
Der Schwerpunkt der Untersuchungen liegt auf den zur Versauerung beitragenden Komponenten (z.B. Schwefel- und Stickstoffverbindungen), Photooxidantien (z.B. Ozon), Schwermetallen, schwerabbaubaren Luftverunreinigungen (POPs) und Feinstaub. (Abb. VII 3.1-1 bis VII 3.1-9).

Abb. VII 3.1-1: *Europaweite Emissionen von Schwefeldioxid 2001*



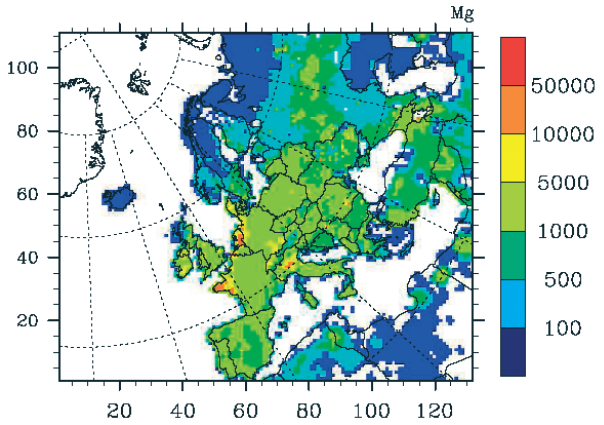
Quelle: *EMEP 2003*

Abb. VII 3.1-2: *Europaweite Emissionen von Stickstoffoxiden (als NO_2) 2001*



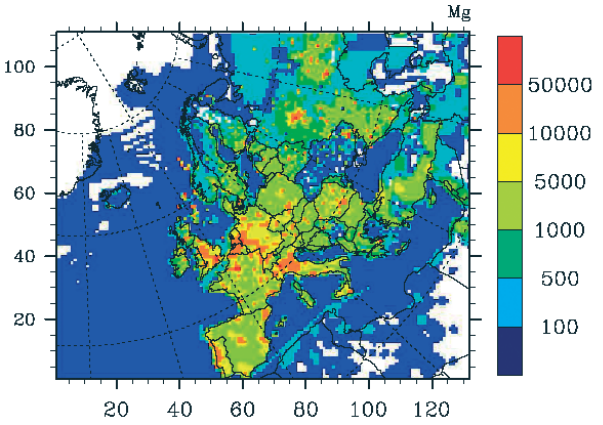
Quelle: *EMEP 2003*

Abb. VII 3.1-3: *Europaweite Emissionen von Ammoniak 2001*



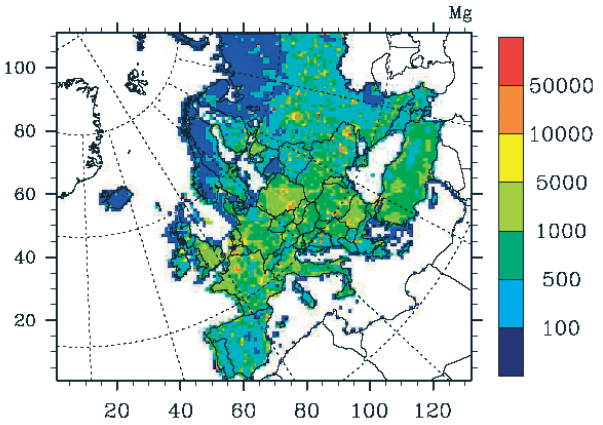
Quelle: *EMEP 2003*

Abb. VII 3.1-4*: Europaweite Emissionen von flüchtigen organischen Luftverunreinigungen (ohne Methan, NMVOC) 2001*



Quelle: *EMEP 2003*

Abb. VII 3.1-5: *Europaweite Emissionen von Feinstaub PM_{10} 2001*



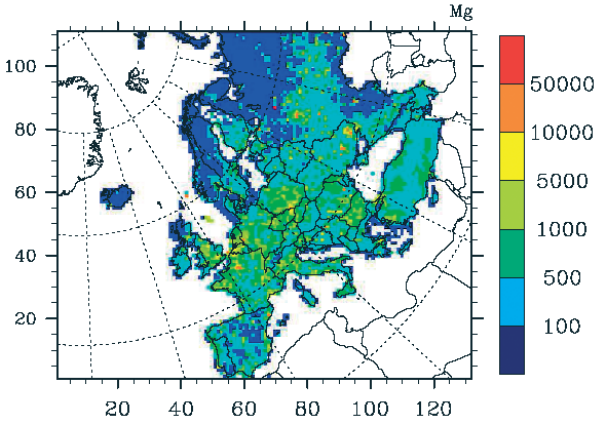
Quelle: *EMEP 2003*

Grenzüberschreitender Transport und Deposition von Luftschadstoffen

Berechnungen zur Ausbreitung der Luftschadstoffe erfordern komplexe Atmosphärenmodelle mit hohen Anforderungen an die Qualität der Eingangsdaten sowie erheblichem technischen Aufwand. Im EMEP-Programm wurden die grenzüberschreitenden Flüsse von oxidiertem Schwefel (S_{ox}), von oxidiertem Stickstoff (N_{ox}) und reduziertem Stickstoff (N_{red}) für 2000 mit Trajektorienmodellen berechnet, die auch die vertikale Struktur der Atmosphäre berücksichtigen. Für die Schwermetalle Blei (Pb), Cadmium (Cd) und Quecksilber (Hg) liegen Modellberechnungen der grenzüberschreitenden Flüsse für das Jahr 2001 vor.

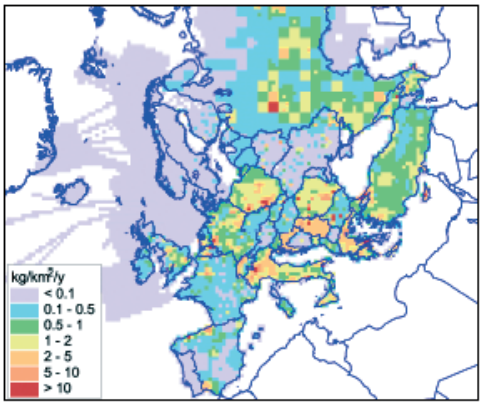
Den Berechnungen liegen die Emissionen von SO_2, NO_x und NH_3 sowie für Pb, Cd und Hg sowie meteorologische Daten zugrunde. Berechnet werden Depositionen, die von den Emissionen einzelner Länder ausgehen und die als jährliche staatenbezogene Emitter-Rezeptor-Matrizen vorgelegt werden. Die Abbildungen VII 3.1-10 bis VII 3.1-12 stellen die Bilanzen für Schwefel und oxidierten sowie reduzierten Stickstoff für Deutschland im Jahr 2000 dar.

VII 3.1-6: *Europaweite Emissionen von Feinstaub $PM_{2,5}$ 2001*



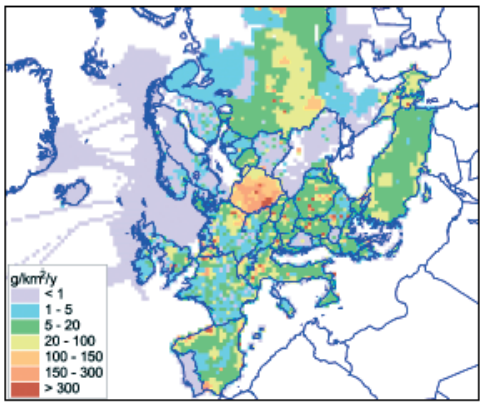
Quelle: *EMEP 2003*

Abb. VII 3.1-7: *Europaweite Emissionen von Blei 2002*



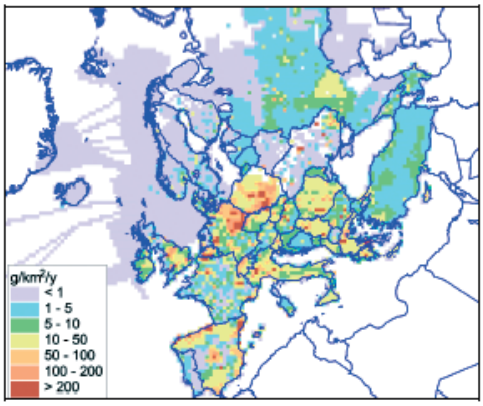
Quelle: *EMEP 2003*

Abb. VII 3.1-8: *Europaweite Emissionen von Cadmium 2002*



Quelle: *EMEP 2003*

Abb. VII 3.1-9: *Europaweite Emissionen von Quecksilber 2002*



Quelle: *EMEP 2003*

Die ständige Weiterentwicklung des EMEP-Modells sowie die Verbesserung der zugrunde liegenden Datenbasis (Meteorologie, Emissionen) führen dazu, dass neuere Modellrechnungen der Depositionen gegenüber früheren Berechnungen u. U. abweichende Werte liefern. Die Zahlenwerte können daher nicht direkt mit früher veröffentlichten Daten verglichen werden.

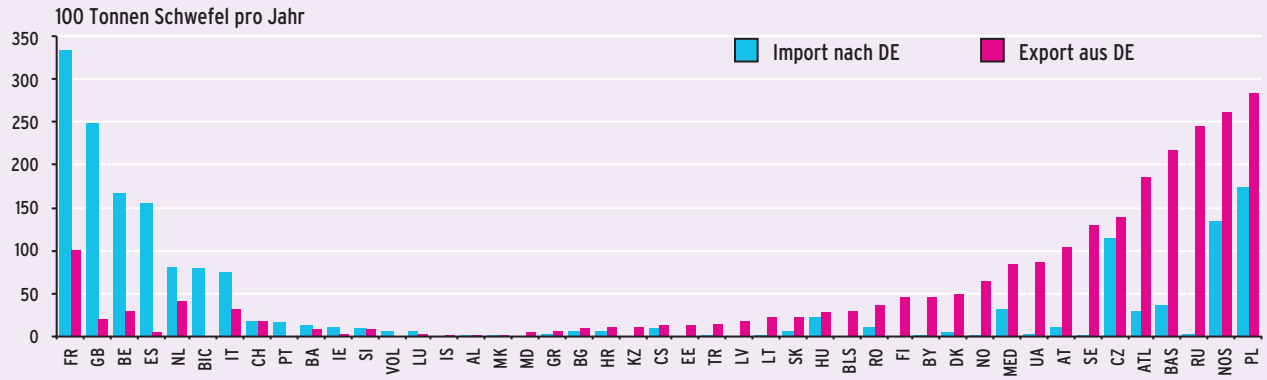
Im Einzelnen stellt sich die Situation für Deutschland nach den EMEP-Berechnungen für Schwefel und Stickstoff im Jahr 2000 wie folgt dar:

Zur Deposition von 162 000 Tonnen Schwefel (S) im Jahr 2000 (t/a S), die den Emissionen aus Deutschland selbst entstammten, kamen grenzüberschreitend 184 200 t/a S aus dem europäischen Ausland (davon 152 300 t/a S vom europäischen Festland). Insgesamt betrug die berechnete Schwefeldeposition also 346 200 t/a S. Das entsprach einer mittleren jährlichen Depositionsrate von 0,97 t/km^2/a S. Andererseits wurden aus der Bundesrepublik Deutschland 246 800 t/a S in das europäische Ausland transportiert (davon ins europäische Festland 168 900 t/a S) (Abb. VII 3.1-10).

Zur Deposition von 84 200 t/a N_{OX}, die den Emissionen aus Deutschland selbst entstammen, kamen grenzüberschreitend 171 600 t/a N_{OX} aus dem europäischen Ausland (davon 147 700 t/a N_{OX} vom europäischen Festland) und weitere 65 900 t/a N_{OX} aus Quellen außerhalb Europas. Insgesamt betrug die berechnete Deposition von oxidiertem Stickstoff also 321 700 t/a N_{OX}. Das entsprach einer mittleren jährlichen Depositionsrate von 0,90 t/km^2/a N_{OX}. Andererseits wurden aus Deutschland 370 200 t/a N_{Ox} in das europäische Ausland transportiert (davon ins europäische Festland 259 000 t/a N_{Ox}) (Abb. VII 3.1-11).

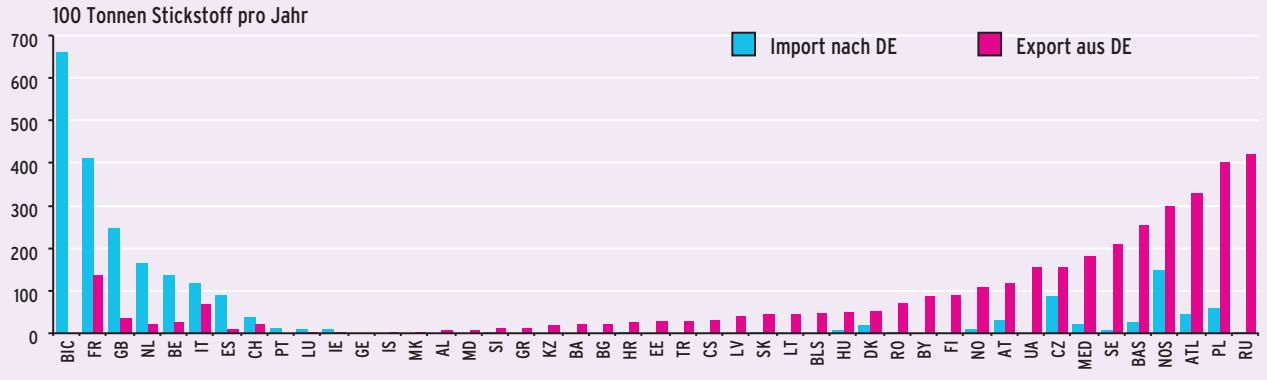
Zur Deposition von 234 600 t/a N_{red}, die den Emissionen aus Deutschland selbst entstammen, kamen grenzüberschreitend 136 900 t/a N_{red} aus dem europäischen Ausland. Insgesamt betrug die berechnete

Abb. VII 3.1-10: *Bilanz des oxidierten Schwefels für Deutschland nach EMEP für 2000*



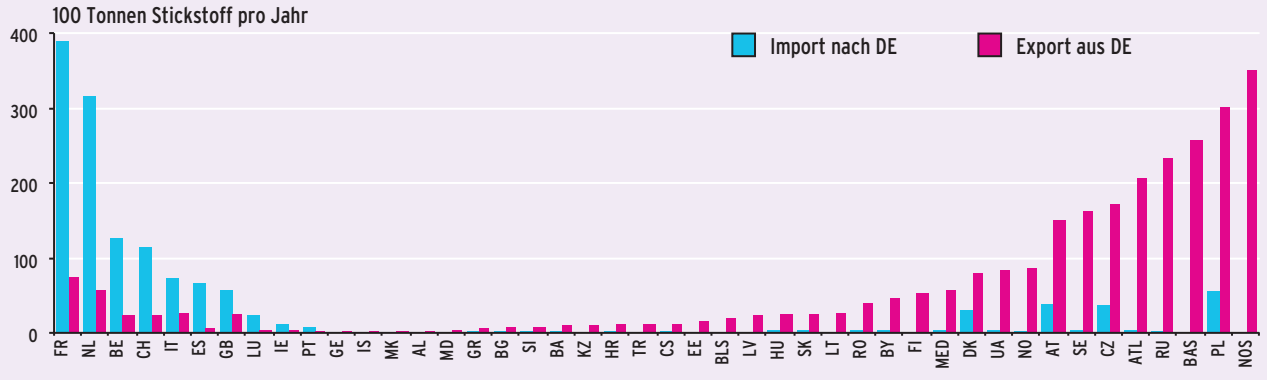
Quelle: *EMEP 2003 a*

Abb. VII 3.1-11: *Bilanz des oxidierten Stickstoffs für Deutschland nach EMEP für 2000*



Quelle: *EMEP 2003 a*

Abb. VII 3.1-12: *Bilanz des reduzierten Stickstoffs für Deutschland nach EMEP für 2000*



Quelle: *EMEP 2003 a*

AF	Afrika
AL	Albanien
AM	Armenien
AS	Asien
AT	Österreich
ATL	Atlantik
AZ	Aserbaidschan
BA	Bosnien-Herzegowina
BAS	Ostsee
BE	Belgien
BG	Bulgarien
BIC	außereuropäische Quellen
BLS	Schwarzes Meer
BY	Weißrussland
CAS	Kaspisches Meer
CH	Schweiz
CS	Serbien und Montenegro
CY	Zypern
CZ	Tschechische Republik
DE	Deutschland
DK	Dänemark
EE	Estland
EMC	EMEP Festland
ES	Spanien
EU	EU
FI	Finnland
FR	Frankreich
GB	Großbritannien und Nordirland
GE	Georgien
GR	Griechenland
GRL	Grönland
HR	Kroatien
HU	Ungarn
IE	Irland
IS	Island
IT	Italien
KZ	Kasachstan
LT	Litauen
LU	Luxemburg
LV	Lettland
MC	Monaco
MD	Moldawien
MED	Mittelmeer
MK	Mazedonien
MT	Malta
NAT	natürliche Meeres emissionen
NL	Niederlande
NO	Norwegen
NOS	Nordsee
PL	Polen
PT	Portugal
RED	Rotes Meer
REM	Rest-Festland
RO	Rumänien
RU	Russland
SE	Schweden
SI	Slowenien
SK	Slowakei
TR	Türkei
UA	Ukraine
VOL	Vulkanische Emissionen

Deposition von reduziertem Stickstoff also 371 500 t/a N_{red}. Das entsprach einer mittleren jährlichen Depositionsrate von 1,04 t/km²/a N_{red}. Andererseits wurden aus Deutschland 273 400 t/a N_{red} in das europäische Ausland transportiert (davon ins europäische Festland 184 400 t/a N_{red}) (Abb. VII 3.1-12).

Die Abb. VII 3.1-13 bis 3.1-15 stellen die Bilanzen der Schwermetalle Blei, Cadmium und Quecksilber für das Jahr 2001 dar.

Flächendeckende Modellierung der Gesamtdeposition von oxidiertem und reduziertem Stickstoff sowie oxidiertem Schwefel in Europa

Für das europäische Überwachungsprogramm EMEP wird mittels atmosphärischer Transportmodelle die gesamte Deposition (nass und trocken) flächendeckend für Europa berechnet. Dazu werden Emissionsinventare im EMEP-Raster (gegenwärtig 50 x 50 km²) mit meteorologischen Transportmodellen und Parametrisierungen der luftchemischen und Depositions-Prozesse kombiniert. Das Transportmodell des Meteorologischen Synthesezentrums West in Oslo berechnet Depositionsraten als Mittelwerte für Elemente des gleichen Rasters, das für Emissionen benutzt wird. Die Abbildungen stellen daraus interpolierte Werte dar.

Mit einem solchen Modell können nicht nur die gesamten Depositionen flächendeckend berechnet, sondern auch Depositionen bestimmten Emissionen zugeordnet werden.

Das bedeutet, dass Emissionsminderungen im Hinblick auf ihre Auswirkungen auf Depositionen, z.B. in besonders empfindlichen Gebieten, überprüft werden können.

Die Modellrechnungen für das Jahr 2002 ergeben für oxidierten Schwefel Gesamtdepositionen von 1–2 g/m²/a S für weite Bereiche Ost- und Südosteuropas und der Beneluxländer, stellenweise auch für England, Nordspanien und Norditalien. Für Deutschland liefert das EMEP-Modell größtenteils Depositionen von 0,5–1 g/m²/a S (für Westdeutschland stellenweise auch 1–2 g/m²/a S). Für Nordeuropa und Südwesteuropa werden meist deutlich niedrigere Schwefeldepositionen (0,1–0,5 g/m²/a) berechnet. Die höchsten Depositionen in Europa (mehr als 2 g/m²/a S) treten in Südosteuropa (z. B. Balkan-Halbinsel, Rumänien, Bulgarien) auf. Hohe Depositionen von oxidiertem Schwefel als Folge lokaler vulkanischer Emissionen (Ätna) werden 2002 auch für Sizilien berechnet (Abb. VII 3.1-16).

Den EMEP-Berechnungen für das Jahr 2002 zufolge treten Gesamtdepositionen von oxidiertem Stickstoff von 0,5–1 g/m²/a N_{ox} u. a. in Großbritannien, den Beneluxländern, Nordfrankreich, Deutschland, Polen, Tschechien, Slowakei, Österreich, der westlichen Balkanhalbinsel und Italien auf. Für weite Teile Nordeuropas, Westeuropas und Osteuropas werden dagegen Depositionen von oxidiertem Stickstoff mit Werten unter 0,5 g/m²/a N_{ox} (für Nordskandinavien: unter 0,1 g/m²/a N_{ox}) berechnet (Abb. VII 3.1-17).

Die höchsten Depositionen des reduzierten Stickstoffs (Ammoniak und Ammonium) im Jahr 2002 finden sich mit Werten über 1 g/m²/a N_{red} in den Niederlanden, in Nordwest- und Süddeutschland, in der Schweiz, in Norditalien und teilweise in Frankreich. Die niedrigsten Depositionen des reduzierten Stickstoffs mit Werten über 0,1–0,5 g/m²/a N_{red} werden u. a. für Nordeuropa und Südwesteuropa (für Nordskandinavien: unter 0,1 g/m²/a N_{red}) berechnet (Abb. VII 3.1-18).

Nasse Deposition saurer und säurebildender Regeninhaltsstoffe an UBA-Messstationen

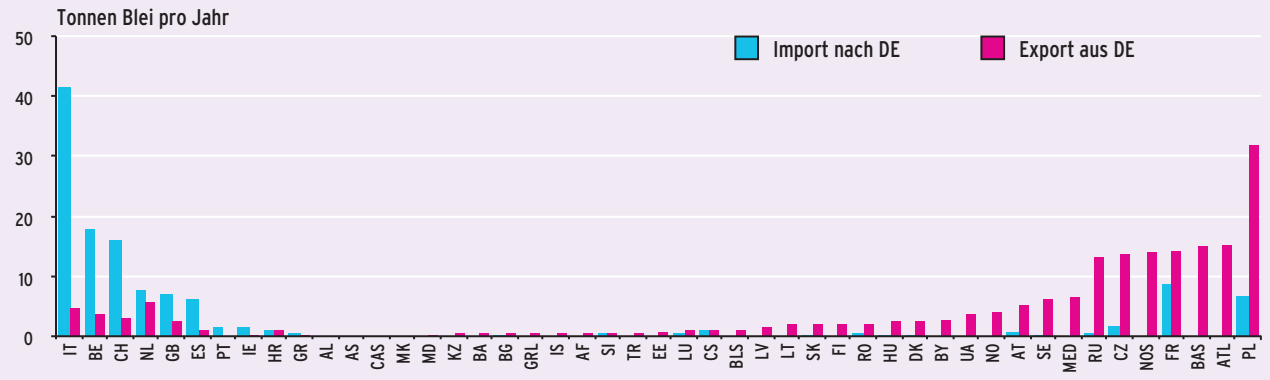
Die im Messnetz des Umweltbundesamtes (Abb. VII 3.1-19) durchgeführten Langzeitmessungen haben gezeigt, dass sich die Konzentrationen und Depositionen einer Reihe von Ionen im Niederschlag zwischen 1982 und 2003 deutlich vermindert haben.

Die pH-Werte im Niederschlag an den fünf Stationen (Westerland, Waldhof, Deuselbach, Schauinsland und Brotjacklriegel) in den alten Ländern zeigen im Untersuchungszeitraum einen Anstieg von etwa 4.3–4.4 auf 4.8–5.0 (Abb. VII 3.1-20). Ein Anstieg der pH-Werte entspricht einem Rückgang der Konzentrationen von Wasserstoffionen (H^+). Das heißt, der Regen ist heute weniger sauer als zu Beginn der 80er Jahre. Obwohl der Beobachtungszeitraum für die drei Stationen Zingst, Neuglobsow und Schmücke in den neuen Bundesländern nur 10 Jahre beträgt, ist eine Zunahme der pH-Werte auch an diesen Stationen festzustellen.

Die heutigen pH-Werte sind im Bereich der natürlichen, d.h. der ohne anthropogene Beeinflussung in Mitteleuropa zu erwartenden Werte, die etwa zwischen 4.6 und 5.6 liegen. Gleichwohl liegen die Konzentrationen der Regeninhaltsstoffe in weiten Regionen Mitteleuropas noch erheblich über denen eines natürlichen Regens.

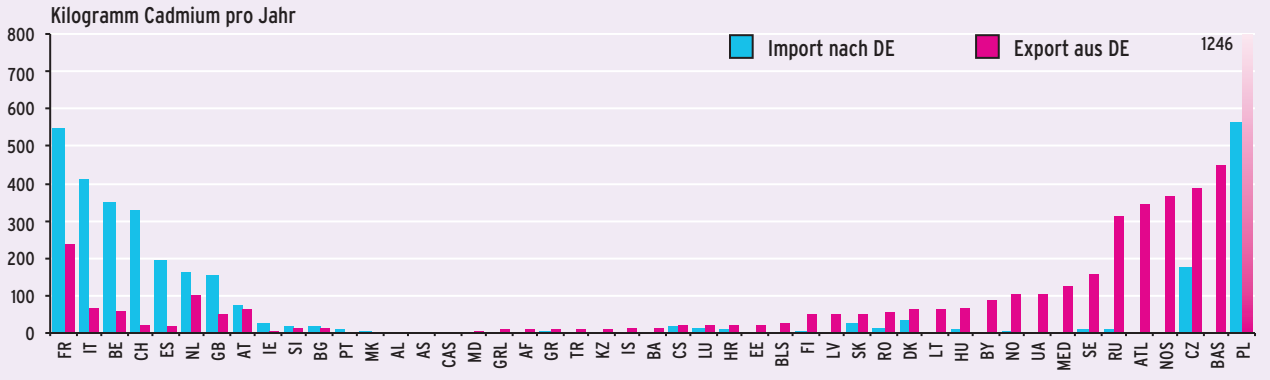
Parallel zum Anstieg der pH-Werte hat der Gesamtgehalt an Ionen und damit die spezifische Leitfähigkeit im Niederschlag zwischen 1982 und 2003 an den Stationen in den alten Ländern – mit Ausnahme von Westerland, wo nur ein schwacher Rück-

Abb. VII 3.1-13: *Blei-Bilanz für Deutschland nach EMEP für 2001*



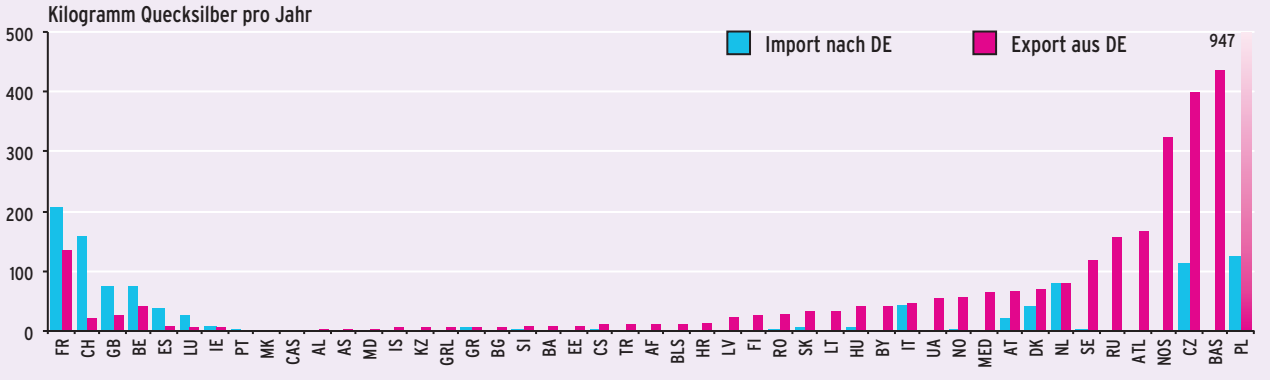
Quelle: *EMEP 2004*

Abb. VII 3.1-14: *Cadmium-Bilanz für Deutschland nach EMEP für 2001*



Quelle: *EMEP 2004*

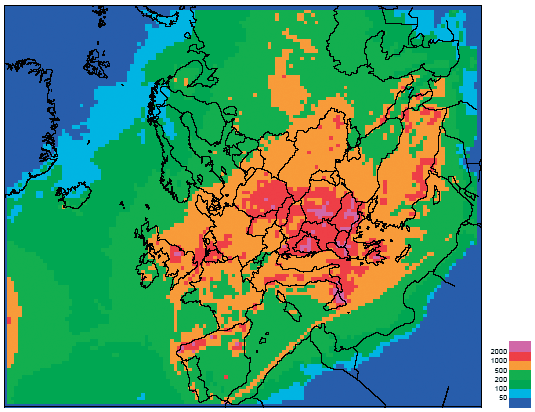
Abb. VII 3.1-15: *Quecksilber-Bilanz für Deutschland nach EMEP für 2001*



Quelle: *EMEP 2004*

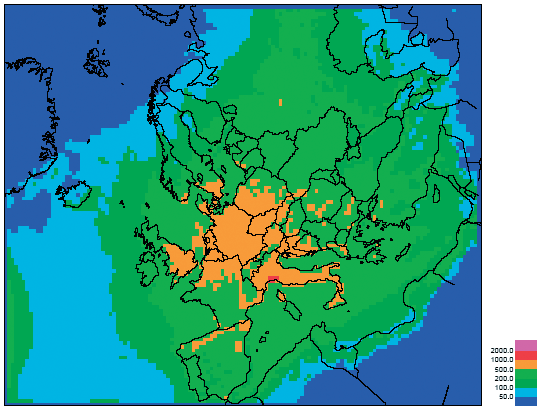
AF	Afrika
AL	Albanien
AM	Armenien
AS	Asien
AT	Österreich
ATL	Atlantik
AZ	Aserbaidschan
BA	Bosnien-Herzegowina
BAS	Ostsee
BE	Belgien
BG	Bulgarien
BIC	außereuropäische Quellen
BLS	Schwarzes Meer
BY	Weißrussland
CAS	Kaspisches Meer
CH	Schweiz
CS	Serbien und Montenegro
CY	Zypern
CZ	Tschechische Republik
DE	Deutschland
DK	Dänemark
EE	Estland
ES	Spanien
EU	EU
FI	Finnland
FR	Frankreich
GB	Großbritannien und Nordirland
GE	Georgien
GR	Griechenland
GRL	Grönland
HR	Kroatien
HU	Ungarn
IE	Irland
IS	Island
IT	Italien
KZ	Kasachstan
LT	Litauen
LU	Luxemburg
LV	Lettland
MC	Monaco
MD	Moldawien
MED	Mittelmeer
MK	Mazedonien
MT	Malta
NL	Niederlande
NO	Norwegen
NOS	Nordsee
PL	Polen
PT	Portugal
RED	Rotes Meer
REM	Rest-Festland
RO	Rumänien
RU	Russland
SE	Schweden
SI	Slowenien
SK	Slowakei
TR	Türkei
UA	Ukraine

Abb. VII 3.1-16: *Modellierte Deposition von Schwefel 2002 (in mg/m² S)*



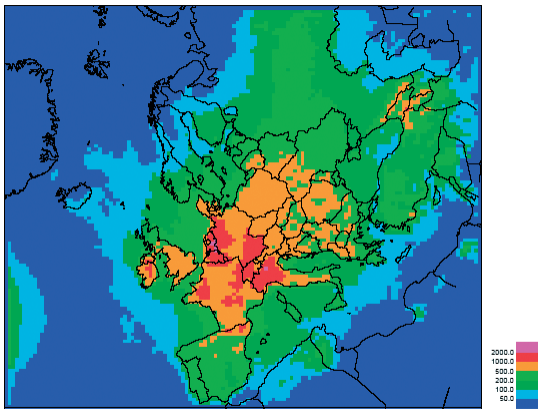
Quelle: *EMEP 2004 a*

Abb. VII 3.1-17: *Modellierte Deposition von oxidiertem Stickstoff 2002 (in mg/m² N)*



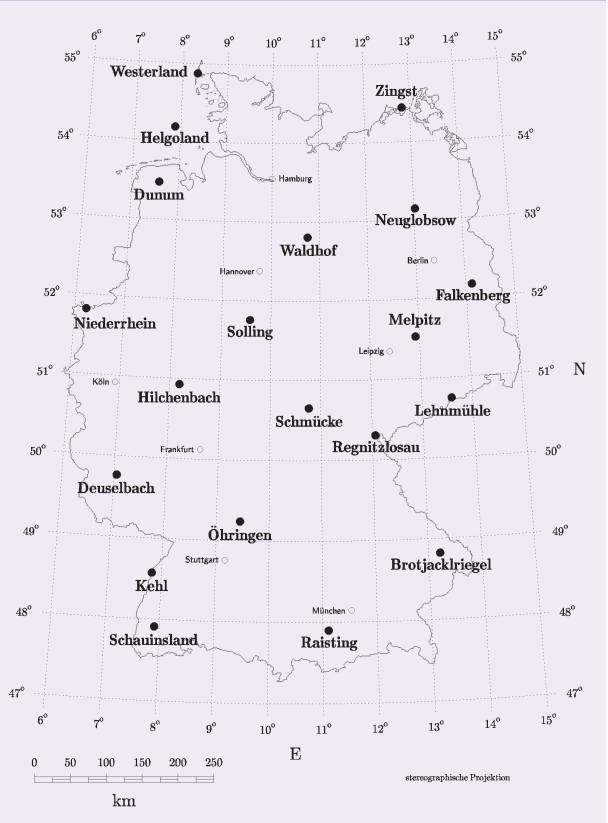
Quelle: *EMEP 2004 a*

Abb. VII 3.1-18: *Modellierte Deposition von reduziertem Stickstoff 2002 (in mg/m² N)*



Quelle: *EMEP 2004 a*

Abb. VII 3.1-19: *UBA-Messnetz-Depositionsmessstellen*



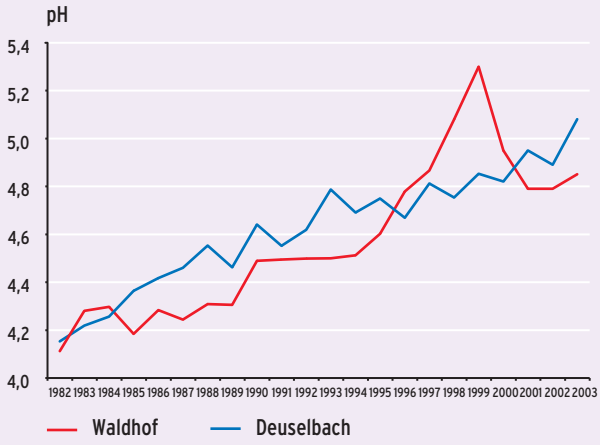
Quelle: *Umweltbundesamt 2004*

gang beobachtet wurde – deutlich abgenommen (Abb. VII 3.1-21). In Westerland wird der Gesamtgehalt an Ionen im Niederschlag weitgehend von Seesalz bestimmt. Für die drei Stationen Zingst, Neuglobsow und Schmücke in den neuen Ländern ist zwischen 1993 und 2003 ebenfalls eine Abnahme erkennbar.

Die Abnahme des Gesamtgehaltes an Ionen im Regen während der letzten zwei Jahrzehnte ist mit einer Änderung der relativen Ionenverteilung verbunden. Ein Vergleich zeigt für die kontinentalen Stationen Waldhof, Deuselbach, Schauinsland und Brotjacklriegel im Jahre 2003 geringere prozentuale Anteile von H^+ und SO_4^- als im Jahre 1984, dagegen höhere Anteile von NO_3^- und NH_4^+, obwohl deren Konzentrationen absolut ebenfalls abgenommen haben. Die niedrigeren Gesamt-Ionenkonzentrationen und die Verschiebung der prozentualen Ionenanteile sind im Wesentlichen auf die stärkere Verminderung der Emissionen von SO_2 gegenüber NO_x und NH_3 zurückzuführen.

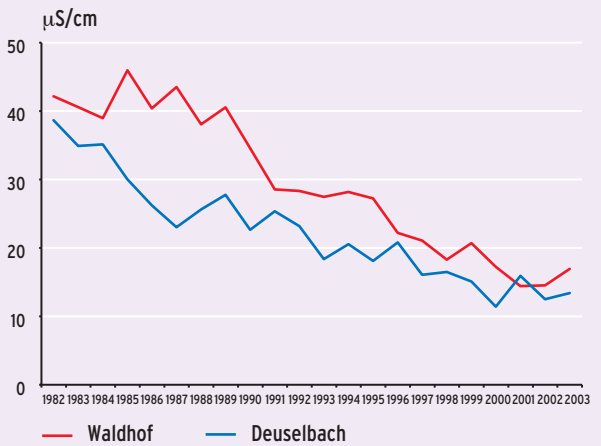
Die Konzentrationen von H^+ und SO_4^- haben mit ca. 80 % und 70 % im Untersuchungszeitraum zwischen 1982 und 2003 am stärksten abgenommen. Der Rückgang der Konzentrationen betrug bei Nitrat und Ammonium etwa 20–40 %. In den Abbildungen VII 3.1-22 und VII 3.1-23 sind die auf das Jahr 1982 normierten Konzentrationen und Depositionen der Ionen als mit der Regenmenge gewichtete Mittel über die fünf Stationen Westerland, Waldhof, Deuselbach, Schauinsland und Brotjacklriegel zwischen 1982 und 2003 dargestellt.

VII 3.1-20: *Entwicklung des pH-Wertes im Niederschlag*



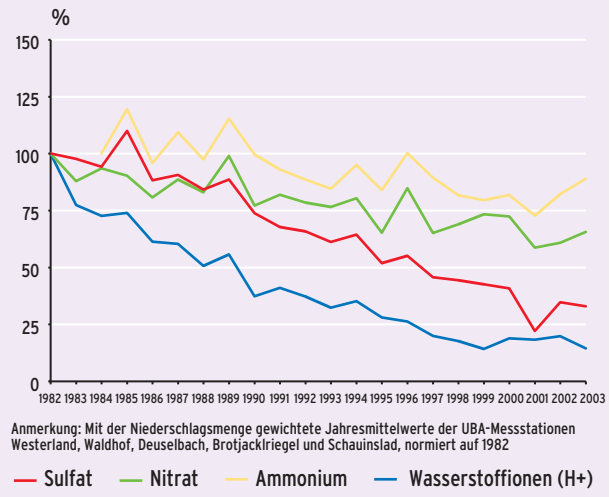
Quelle: *Umweltbundesamt 2004*

Abb. VII 3.1-21: *Entwicklung der Leitfähigkeit im Niederschlag*



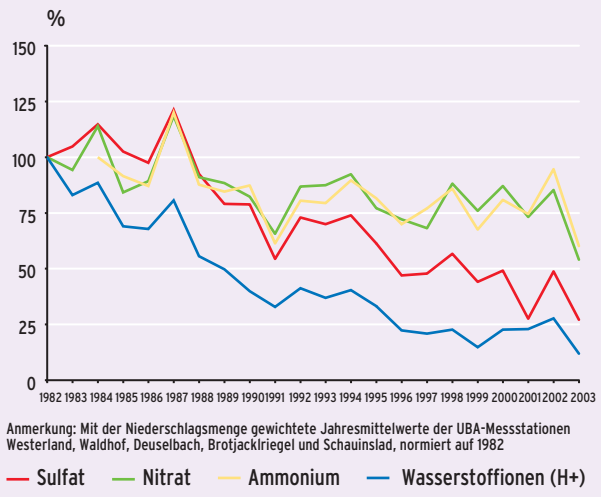
Quelle: *Umweltbundesamt 2004*

VII 3.1-22: *Entwicklung der Ionenkonzentrationen*



Quelle: *Umweltbundesamt 2004*

VII 3.1-23: *Entwicklung der nassen Deposition*



Quelle: *Umweltbundesamt 2004*

VII 3.2 Düngungsbedingte Schadstoffeinträge in landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzte Böden

Auf der Grundlage des Beschlusses der gemeinsamen Agrar- und Umweltministerkonferenz vom 13. Juni 2001 in Potsdam, nach dem „aus Vorsorgegründen sicher zu stellen (ist), dass es durch Bewirtschaftungsmaßnahmen zu keiner Anreicherung von Schadstoffen in den Boden kommt“ sowie der neuen Anforderungen der Bundesbodenschutzgesetzgebung wurde vom Bundesumweltministerium (BMU) und Bundesverbraucherschutzministerium (BMVEL) am 3. Juni 2002 eine Konzeption zur einheitlichen Bewertung von Düngemitteln – „Gute Qualität und sichere Erträge“ – vorgelegt. Die Basis der Berechnungen für zulässige Schwermetallgehalte in den betroffenen Materialien sind die Bodenvorsorgewerte für die einzelnen Bodenarten als Maßstab für eine gute Bodenqualität. Unter Berücksichtigung der Prinzipien „Gleiches zu Gleichem“ und „Eintrag gleich Austrag“ waren bei der Ableitung der Werte folgende Stellgrößen entscheidend:

- der langfristig im Boden verbleibende Anteil,
- der Pflanzenentzug,
- der Nährstoffgehalt,
- der Untersuchungsfehler.

Einträge von Schadstoffen durch Bioabfälle in landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden

Bioabfallmengen haben seit Inkrafttreten der Technischen Anleitung Siedlungsabfall am 01.06.1993 stark zugenommen (Kap. X 2.2). In Deutschland existieren ca. 900 Bioabfallbehandlungsanlagen, die jährlich etwa 12 Mio. t Bioabfälle (einschl. biologisch abbaubarer landwirtschaftlicher Materialien)

verarbeiten [1]. Nach derzeitigen Angaben der Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) von 2004 unterliegen 436 Anlagen der vom Deutschen Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V. (RAL) kontrollierten Gütesicherung. Die dabei erzeugten Sekundärrohstoffdünger sind potenziell für die organische Düngung in Landwirtschaft und Gartenbau verfügbar.

Jährlich werden 4,8 Mio. t Bioabfallkomposte sowie 2,6 Mio. t Bioabfallgärprodukte hergestellt. Die fünf wichtigsten Absatzbereiche sind in der Tabelle VII 3.2-1 aufgelistet [2].

Tab. VII 3.2-1: *Absatzbereiche für Komposte*

Absatzbereiche in Prozent	
Landwirtschaft	39
Garten- und Landschaftsbau	17
Hobbygarten	9
Erdenwerke	10
Sonderkulturen	13

Quelle: *Bergs, C. G. 2000*

Der Komposteinsatz in der Land- und Forstwirtschaft sowie auf gartenbaulich genutzten Böden ist seit 1998 in der Bioabfallverordnung (BioAbfV) geregelt. Darin werden Grenzwerte für die Schwermetallgehalte verwerteter Bioabfälle festgelegt, die sich an der Aufbringungsmenge innerhalb eines festgelegten Zeitraumes orientieren (Tab. VII 3.2-2). Werden

Tab. VII 3.2-2: *Grenzwerte für Schwermetalle in Bioabfällen*

In mg/kg TS	A	B
Blei	150,0	100,0
Cadmium	1,5	1,0
Chrom	100,0	70,0
Kupfer	100,0	70,0
Nickel	50,0	35,0
Quecksilber	1,0	0,7
Zink	400,0	300,0

TS = Trockensubstanz

Quelle: *Bioabfallverordnung (BioAbfV), 1998*

innerhalb von drei Jahren nicht mehr als 20 t Bioabfälle (Trockenmasse) je Hektar aufgebracht, dürfen die in Spalte A eingetragenen Grenzwerte auch von Gemischen nicht überschritten werden. Diese Grenzwerte entsprechen den Richtwerten des RAL-Gütezeichens Kompost (RAL-GZ 251). Sollen im gleichen Zeitraum bis zu 30 t Trockenmasse je Hektar aufgebracht werden, sind die Grenzwerte der Spalte B einzuhalten.

Eine vom Umweltbundesamt (UBA) initiierte Untersuchung von Kompostqualitäten der bei der BGK zusammengeschlossenen Anlagen für die Jahre 1998 bis 2002 [3] kam zu folgenden Ergebnissen: Im Vergleich zum Stand vor Inkrafttreten der Bioabfallverordnung wurden über 10 %ige Qualitätsverbesserungen festgestellt. Diese resultiert aus dem Zuwachs von Nährstoffen sowie aus einem Rückgang bei Blei, Quecksilber und Cadmium. Höhere Gehalte an organischer Substanz waren am häufigsten mit abnehmenden Schwermetallkonzentrationen verbunden. Etwa 18 % aller untersuchten Anlagen hielten die Grenzwerte nach BioAbfV § 4 (3) Satz 2 nicht ein. Hinsichtlich der vom UBA überarbeiteten Wertevorschläge für eine Artikelverordnung ist bei 95 % aller Anlagen mit einer Einhaltung der zu erwartenden Qualitätsanforderungen für die stoffliche Verwertung zu rechnen (Tab. VII 3.2-3).

Einträge von Schadstoffen durch Gülle in landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzten Böden

Gülle entsteht bei der strohlosen Aufstallung der modernen Tierhaltung. Bei unsachgemäßer Ausbringung, d. h. ungünstigem witterungsbedingtem Anwendungszeitpunkt und falscher Applikationsmenge, kann es zur Auswaschung leicht löslicher Nährstoffe im Boden kommen. In Tab. VII 3.2-4 sind die Nährstoffgehalte der verschiedenen Güllen dargestellt.

Gülle enthält jedoch neben Nährstoffen auch anorganische und organische Schadstoffe. In Tab. VII 3.2-5 sind die Schwermetallgehalte von Rinder- und Schweinegülle dargestellt. Hier sind vor allem die fütterungsbedingt hohen Kupfer- und Zink-Gehalte problematisch.

Neben den Schwermetallen enthält Gülle eine Vielzahl organischer Schadstoffe, die aus der Tierernährung oder der Stallhygiene stammen.

Im Forschungsprojekt des UBA „Charakterisierung und Verwertung von Abfällen aus der Massentierhaltung unter Berücksichtigung verschiedener Böden“ [4] wurden in der Region Weser-Ems die eingesetzten Tierarzneimittel (TAM) und pharmakologisch wirksamen Substanzen statistisch erfasst. Ziel des Vorhabens war eine Schätzung, inwieweit durch den Einsatz der genannten Mittel das Entstehen einer schädlichen Bodenveränderung sowie eine Grundwasserverunreinigung erfolgt ist. Die Quantifizierung von Stoffeinträgen in Böden durch Tierarzneimittel und sogenannte pharmakologisch wirksame Futterzusatzstoffe stand im Vordergrund der vorliegenden Studie.

Tetrazykline stellten mit 58 % der Antibiotikamenge die bedeutendste Substanzklasse. Hervorzuheben sind weiterhin die Sulfonamide (21 %), Aminoglykoside (10 %), β-Lactame (5 %) und Polymyxine (3 %). 78 % des Tetrazyklinverbrauchs konnten der Schweinehaltung zugeordnet werden.

Tab. VII 3.2-3: *Entwicklung der Kompostqualität*

Analyse-Parameter		1991 Mittelwert n = 153	1995 Mittelwert n = 488	2002 Mittelwert n = 376
Keimfäh. Samen	je l FM	0,09	0,19	0,08
Fremdstoffe	% TM	0,23	0,16	0,20
Steine	% TM	2,53	1,94	1,74
Glühverlust	% TM	36,30	36,50	37,30
Nges	% TM	1,03	1,25	1,52
P_2O_5ges	% TM	0,52	0,63	0,83
K_2Oges	% TM	0,85	1,04	1,26
Mgges	% TM	0,50	0,74	0,84
CaOges	% TM	3,55	4,35	4,79
Nloes	mg/l FM	114,49	235,89	402,10
Ammonium	mg/l FM	505,00	125,41	295,40
Nitrat	mg/l FM	64,00	66,95	92,40
P_2O_5loes	mg/l FM	815,94	942,09	1 068,00
K_2Oloes	mg/l FM	1 952,15	3 149,81	4 101,00
Mgloes	mg/l FM	433,62	243,45	227,00
Blei	mg/kg TM	63,21	59,32	46,40
Cadmium	mg/kg TM	0,79	0,60	0,47
Chrom	mg/kg TM	33,02	26,37	25,30
Kupfer	mg/kg TM	39,32	45,53	57,70
Nickel	mg/kg TM	18,58	16,28	16,30
Quecksilber	mg/kg TM	0,25	0,19	0,16
Zink	mg/kg TM	182,93	196,68	203,70

FM = Frischmasse; TM = Trockenmasse; n = Anzahl der Analysen; ges: Gesamt; loes: löslich

Quelle: *Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V. 2002*

Expositionsschätzungen unter worst-case-Annahmen für Ausscheidung und Persistenz ergaben in Anlehnung an EMEA/CVMP für einmalige Bestandsbehandlungen mit durchschnittlicher Dosierung Endkonzentrationen von ca. 20 ppm in Gülle (Mastschweine) und 90 ppm in Festmist (Mastputen). Bei Ausbringung in zulässiger Höhe lt. DüngeVO errechneten sich theoretische PECs (predicted environmental concentrations) im Boden zwischen 0,45 und 0,9 ppm. Damit liegen sie deutlich höher als die Triggerwerte, bei deren Überschreitung weitere ökotoxikologische Untersuchungen nach der seit 1998 angewendeten Zulassungsrichtlinien (EMEA/CVMP-Leitlinie) vorgesehen sind.

Tab. VII 3.2-4: *Gehalte an Nährstoffen verschiedener Düngemittel[1)] in g/kg m_T*

Düngemittel angegeben als:	Stickstoff N	Phosphor P_2O_5	Kalium K_2O
Rindergülle	50	23,0	65,9
Schweinegülle	105	57,7	69,4

[1)] Nach Literaturangaben und Länderabfragen; angegeben ist ein aus diesen Angaben abgeleiteter mittlerere Gehalt für organische Düngemittel. Es wird darauf hingewiesen, dass die zugrunde liegenden Daten zum Teil ganz erhebliche Schwankungsbreiten aufweisen. Auf deren Darstellung wurde bewusst verzichtet, weil sie für die vorgenommenen modellhaften Ableitungen verzichtbar sind.

Quelle: *Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz 2000*

Die Ausscheidung von Tetrazyklin mit Kot und Harn ist durch einen deutlichen Anstieg bis zum letzten Applikationstag gekennzeichnet und geht danach wieder stark zurück. Einzelne Tiere können jedoch noch über einen längeren Zeitraum signifikante TC-Mengen ausscheiden. Bereits am siebten Tag nach Beginn der Applikation konnten bis zu 70 % der verabreichten Wirkstoffmenge wiedergefunden werden.

Entgegen den Ergebnissen anderer Untersuchungen [5] wies Tetrazyklin in den eigenen Untersuchungen eine hohe Stabilität in Schweinegülle auf. Der maximale Rückgang betrug über einen Zeitraum von 7 Wochen ca. 50 %. Stoffkonzentration, Umgebungstemperatur oder Lufteintrag durch zeitweiliges Aufrühren hatten nur geringen Einfluss auf das Lagerverhalten. Im feststoffreichen Sediment der Versuchsbehälter wurden um den Faktor

Tab. VII 3.2-5: *Schwermetallgehalte verschiedener Düngemittel[1)]*

Düngemittel	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Rindergülle	0,28	7,3	44,5	0,06	5,9	7,7	270
Schweinegülle	0,40	9,4	309,0	0,02	10,3	6,2	858

[1)] Nach Literaturangaben und Länderdaten; angegeben ist ein aus diesen Angaben abgeleiteter mittlerer Gehalt in mg/kg m_T.

Quelle: *Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz 2000*

3 bis 5 höhere TC-Konzentrationen als in der flüssigen Phase ermittelt.

Im Forschungsprojekt des Umweltbundesamtes zu „Einträgen von Stoffen in Böden – eine Abschätzung des Gefährdungspotentials“ wurden auch in der Landwirtschaft eingesetzte Reinigungs- und Desinfektionsmittel untersucht. Diese gezielt eingesetzten synthetischen Chemikalien nehmen nach Handelsdüngern und Pflanzenschutzmitteln mengenmäßig den dritten Platz ein.

In Tab. VII 3.2-6 werden die Ergebnisse einer Befragung von Verbänden, Forschungseinrichtungen, Händlern und Herstellerfirmen über den mengenmäßigen Einsatz von Reinigungs- und Desinfektionsmitteln im Jahr 1997 angegeben.

- *Reinigungs- und Desinfektionsmittel*: Die quantitativ bedeutendste Gruppe sind Reinigungs- und Desinfektionsmittel für Melkanlagen. Es handelt sich um Konzentrate oder um Pulver zum Ansatz verdünnter Lösungen. Natriumhypochlorit und Dichlorisocyanurat aus Melkreinigern können sowohl im Klärschlamm als auch in der Gülle zu einer zusätzlichen AOX-Belastung führen.
- *Iod-haltige Zitzentauchmittel*: An zweiter Stelle folgen Zitzentauchmittel auf Iod-Basis. Diese werden in der Regel nicht weiter verdünnt. Nonylphenolethoxylate aus Zitzentauchmitteln können in der Rindergülle zu Nonylphenolwerten von maximal 0,9 mg/kg TS führen und im Klärschlamm können Nonylphenole in Konzentrationen von etwa 3–4 mg/kg auftreten. Das stellt etwa 15 % des Nonylphenolgehalts im Klärschlamm dar.
- *Kupfersulfat für Klauendesinfektion*: Der Verbrauch von Kupfersulfatpulver wird auf 1 000 t/a geschätzt, das in 5–10-prozentiger wässriger Lösung zur vorbeugenden Desinfektion und Härtung von Rinderklauen benutzt wird. Kupfersulfatlösung führt zur Schwermetallbelastung der Gülle und damit des Bodens. In den (schätzungsweise) 1 000 t Kupfersulfat sind 250 t Kupfer enthalten, die vom jährlichen Kupfer-Gesamteintrag in landwirtschaftlichen Böden (rd. 3 500 t) immerhin 7 % ausmachen. Lokale Spitzengehalte können weit über diesem Mittelwert liegen, in Einzelfällen auch über dem hilfsweise herangezogenen Klärschlammgrenzwert von 800 mg/kg TS.
- *Stalldesinfektion*: Zwischen 800 und 900 t/a Stalldesinfektionsmittel (Fertigzubereitungen aus dem Handel) werden verbraucht. Ihre Gebrauchskonzentration in Wasser beträgt zwischen 1 und 4 Volumenprozent. Quarternäre Ammoniumverbindungen (QAV), die außer aus Melkreinigern auch aus Stalldesinfektionsmitteln stammen, führen in Rinder- und Schweinegülle zu keiner toxischen Gefährdung. Allenfalls Geflügelgülle kann eine QAV-Konzentration von 100 mg/kg TS erreichen.
- *Cyanamidlösung zur Gülledesinfektion*: Im anzeigepflichtigen Seuchenfall wird die Gülle chemisch mit organischen Stoffen wie Formaldehyd, Peressigsäure, Ameisensäure und Calciumcyanamid desinfiziert. Außerdem werden anorganische kalkhaltige Zubereitungen und Ätznatron eingesetzt, die in diesem Zusammenhang aber nicht weiter erwähnt werden. Über die Einsatzmengen der o. g. Stoffe gibt es wegen des unregelmäßigen Anwendungsbedarfs nur grobe Schätzungen. Die jährlichen Verbrauchsmengen von Formaldehyd und Calciumcyanamid zur Gülleentseuchung dürften sich im Bereich von 1 000 t bewegen. Ca. 250 t Cyanamid werden in der großbetrieblichen Schweinehaltung zur regelmäßigen Bekämpfung von Krankheitserregern und Fliegeneiern im Güllekanal des Stalles eingesetzt.

Einträge von Schadstoffen durch Klärschlämme in landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden

2003 fielen 2,172 Mio. t Trockensubstanz (TS) Klärschlämme an.

Diese Mengen wurden wie folgt verwertet:

- Landwirtschaftliche Nutzung 44 %
- Landschaftsbau 12 %
- Kompostierung 10 %
- Verbrennung 23 %
- Deponierung 11 %

Die Klärschlammverordnung [6] schreibt für Schadstoffe im Klärschlamm, die auf landwirtschaftlich

Tab. VII 3.2-6: *Reinigungs- und Desinfektionsmittelgruppen in der landwirtschaftlichen Tierhaltung*

Anwendung	t/a	Informationsquellen
Reinigungs- und Desinfektionsmittel von Melkanlagen	22 000	Melkreiniger-Hersteller
Iod-haltige Zitzentauchmittel	3 500	Zitzentauchmittel-Hersteller
Kupfersulfat für Klauendesinfektion	1 000	v. a. Chemikalienhändler
Stalldesinfektion	860	Stalldesinfektionsmittel-Hersteller
Organische Gülleentseucher	< 1 000	v.a. Universität Hohenheim
Cyanamidlösung zur Gülledesinfektion	250	v.a. Universität Hohenheim

Quelle: *Kaiser et al. 1998*

oder gärtnerisch genutzte Flächen ausgebracht werden sollen, Grenzwerte vor.

Schadstoffe sind:

- Schwermetalle (Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink),
- polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F),
- polychlorierte Biphenyle (PCB),
- Summenparameter Adsorbierbare Organische Halogene (AOX).

In den Tabellen VII 3.2-7 und VII 3.2-8 sind die mittleren Konzentrationen der Schwermetalle und der organischen Stoffe in landwirtschaftlich verwerteten Klärschlämmen von 1991 bis 2003 angegeben. Außerdem werden die dazugehörigen Grenzwerte laut Klärschlammverordnung (AbfKlärV) aufgelistet.

Tab. VII 3.2-7: *Mittlere Konzentrationen der Schwermetalle in landwirtschaftlich verwerteten Klärschlämmen (mg/kg TM)*

	1991–1994	1995	2001	2003	Grenzwert nach AbfklärV
Blei	93,0	73,0	48,5	48,0	900,0
Cadmium	2,1	1,5	1,1	1,1	10 [1)]
Chrom	59,0	52,0	37,4	42,0	900,0
Kupfer	286,0	277,0	300,6	305,0	800,0
Nickel	31,0	24,0	26,0	27,0	200,0
Quecksilber	2,1	1,3	0,8	0,7	8,0
Zink	1076,0	863,0	774,0	746,0	2 500 [1)]

[1)] Für leichte Böden mit einem Tongehalt < 5 % oder einem pH-Wert 5–6 beträgt der Grenzwert nach AbfkläV für Cd = 5 und Zn = 2 000.

Quelle: *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2004*

Im Vergleich zum Zeitraum von 1991 bis 1994 zeigen die mittleren Schwermetallgehalte bis 2003 eine abnehmende Tendenz (ausgenommen Kupfer). Die mittleren Gehalte der organischen Stoffe im Klärschlamm sinken ebenfalls.

Tab. VII 3.2-8: *Mittlere Konzentrationen an organischen Schadstoffen bei landwirtschaftlich verwerteten Klärschlämmen (mg/kg TM)*

Parameter	1994	2000	2003	Grenzwert nach AbfKlärV
PCDD/F (ng TE/kg TM)	22	9,6	9,5	100
PCB 28	0,015	0,0059	0,0077	0,2
PCB 52	0,015	0,0062	0,0085	0,2
PCB 101	0,024	0,0113	0,0200	0,2
PCB 138	0,039	0,0187	0,0187	0,2
PCB 153	0,039	0,0206	0,0195	0,2
PCB 180	0,026	0,0141	0,0138	0,2
Summe PCB		0,0748	0,0835	
AOX	206	175,6	171,9	500

Quelle: *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2003*

Einträge von Schadstoffen durch Mineraldünger in landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzte Böden

Neben den eigentlichen Nährstoffen enthalten Mineraldünger je nach Rohstoff und Herstellungsverfahren unterschiedlich hohe Mengen an Schadstoffen, besonders Schwermetallen.

Hinsichtlich der Belastung mit Schadstoffen liegen verschiedene Einzeluntersuchungen vor. Das Umweltbundesamt hatte 1992 mit seiner Studie „Schwermetalle und andere Schadstoffe in Düngemitteln“ [7] erstmals eine Übersicht der verschiedenen Düngemittel bereitgestellt. Bis heute liegen keine neuen Studien vor. Neuere Arbeiten, die sich mit Schwermetallen in der Landwirtschaft beschäftigen, berufen sich auf die Ergebnisse der UBA-Studie [8], [9].

Es werden im Weiteren nur die Düngemittel für die Hauptnährstoffe betrachtet.

Stickstoffdünger

Reine N-Dünger weisen nur geringe Schwermetallverunreinigungen auf. Im Gegensatz dazu ist durch die eingemischte P-Komponente bei NP- und NPK-Düngern mit höheren Schwermetallgehalten, besonders hinsichtlich Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel und Zink zu rechnen. Bei den NPK-Düngern ist der Schwermetallgehalt durchschnittlich niedriger, da die eingemischte Kali-Komponente geringer mit Schwermetallen belastet ist und somit zu einem niedrigeren Gesamtschwermetallgehalt führt [10].

Die Schwermetallgehalte der wesentlichen Stickstoffdüngemittel sind in Tab. VII 3.2-9 dargestellt.

Phosphordünger

Hinsichtlich ihrer Wirkung im Boden ist zwischen aufgeschlossenen Phosphaten (beispielsweise Superphosphat) und nicht aufgeschlossenen Phosphaten (beispielsweise Rohphosphat) zu unterscheiden. Die diversen Rohphosphate weisen in ihren Schwermetallgehalten hohe Schwankungsbreiten in Abhängigkeit von den Rohphosphat-Lagerstätten auf. Dabei sind die Schwermetallgehalte der primären (magmatisch entstandenen) Lagerstätten niedriger als die der sekundären (aus organischen Ablagerungen ent-

Tab. VII 3.2-9: *Schwermetallgehalte verschiedener Stickstoff-Düngemittel[1)] in g/kg m_T*

Düngemittel	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Kalkammonsalpeter	0,25	8,70	4,00	0,02	3,80	21,40	38,30
Ammonnitrat – Harnstofflösung	0,03	1,30	6,30	0,30	0,20	2,30	
Harnstoff	0,13	0,50	0,50		0,70	0,60	1,90
Mineral. NPK-Dünger, 15/15/15 u.a.	3,78	45,80	11,30	0,06	10,90	14,80	116,00
Mineral. NP-Dünger, 20/20/0 u. a.	9,15	91,40	21,50	0,02	18,00	5,50	151,00
Grenzwert nach DüMV	**1,5**	**2,0[2)]**	**70**	**1**	**80**	**150**	**1 000**

[1)] Nach Literaturangaben und Länderdaten; angegeben ist ein aus diesen Angaben abgeleiteter mittllerer Gehalt. Es wird darauf hingewiesen, dass die zugrunde liegenden Daten zum Teil ganz erhebliche Schwankungsbreiten aufweisen. Auf deren Darstellung wurde bewusst verzichtet, weil sie für die vorgenommenen modellhaften Ableitungen verzichtbar sind.

[2)] Gilt nur für Düngemittel, die aus Verbrennungsprozessen stammen. Als Cr(VI).Quelle: LABO 2000, Cadmiumanreicherung in Böden/einheitliche Bewertung von Düngemitteln, Bericht der UMK-AMK-LABO-AG, Bericht wurde von der 26. ACK im Oktober 2000 zur Kenntnis genommen.

Quelle: *Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz 2000*

standenen) Phosphatvorkommen [11]. Neben hohen Chrom-Gehalten in Thomasphosphat, einem Abprodukt der Verhüttung von Eisenerzen, das jedoch nur noch in geringem Maße Verwendung findet, ist der teilweise hohe Cadmium-Gehalt in P-Düngemitteln von Bedeutung.

Zur Prüfung des Gesundheitsrisikos und der Umweltwirkungen von Cadmium in Düngemitteln, vor allem P-Düngemitteln, in den EU-Mitgliedstaaten wurden von der EU-Kommission zwei Studien in Auftrag gegeben. Neun Mitgliedstaaten haben eigene Studien durchführen lassen.

Die im Auftrag von einigen Mitgliedstaaten erstellte Studie des Scientific Committee for Toxicity, Ecotoxicity and the Environment (SCTEE) kam zu folgendem Ergebnis:

- Bei geringen Cadmium-Konzentrationen in Düngemitteln (1...20 mg Cd/kg P_2O_5) ist tendenziell nur eine relativ langsame Anreicherung im Boden zu erwarten oder günstigstenfalls sogar über einen Zeitraum von 100 Jahren gesehen eine Verringerung durch höhere Austräge gegenüber den Einträgen.
- Bei hohen Cadmium-Konzentrationen in Düngemitteln (> = 60 mg Cd/kg P_2O_5) ist dagegen mit einer relativ hohen Anreicherung in Ackerböden über einen Zeitraum von 100 Jahren zu rechnen.

Die Ergebnisse der Einzelstudien der EU-Mitgliedstaaten zu den Risikoabschätzungen führten dazu, dass die Empfehlungen des SCTEE übernommen werden konnten. D. h., dass Dünger mit Cadmium-Konzentrationen von < = 20 mg Cd/kg P_2O_5 zu keiner Langzeitakkumulation von Cadmium im Boden führen, falls keine wesentlichen Einträge auf anderem Wege erfolgen. Dünger mit Cadmium-Konzentrationen > = 60 mg Cd/kg P_2O_5 führen mit hoher Wahrscheinlichkeit zur Langzeitakkumulation von Cadmium im Boden.

Die Schwermetallgehalte der wesentlichen Phosphordüngemittel sind in Tab. VII 3.2-10 dargestellt. In Deutschland ist laut Änderung der Düngemittelverordnung vom September 2004 ein Cadmium-Grenzwert von 50 mg Cd/kg P_2O_5 für Düngemittel ab 5 % P_2O_5 gültig.

Kaliumdünger

Kalirohsalze haben einen sehr niedrigen Schwermetallgehalt. Bei Thomaskali bestehen die bereits bei den P-Düngemitteln beschriebenen Probleme mit

Tab. VII 3.2-10: *Schwermetallgehalte verschiedener Phospor-Düngemittel[1)] in g/kg m_T*

Düngemittel	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Superphospat	10,8	114	17,2	n. b.	28,8	18,5	236
Triplesuperphospat	26,8	288	27,3	0,04	36,3	12	489
diverse Rohphosphate2)	7,8	168	15,6	n. b.	15,6	1,3	199
Mineral. NPK-Dünger, 15/15/15 u.a.	3,78	45,8	11,3	0,06	10,9	14,8	116
Mineral. NP-Dünger, 20/20/0 u.a.	9,15	91,4	21,5	0,02	18	5,5	151
Mineral. PK-Dünger, 0/15/20 u.a.	7,98	191	19,3	0,08	19,9	14,4	152
Grenzwert nach DüMV	**1,5**	**2 [3)]**	**70**	**1**	**80**	**150**	**1 000**

[1)] Nach Literaturangaben und Länderdaten; angegeben ist ein aus diesen Angaben abgeleiteter mittlerer Gehalt

[2)] Bei den Rohphosphaten gibt es je nach Herkunft beim Cadmiumgehalt ganz erhebliche Streubreiten von 2–80 mg P_2O_5/kg m_T. Aktuell werden nur solche Phosphate zur Herstellung von Phosphatdüngern verwendet, deren Gehalt deutlich unter 40 mg P_2O_5/kg m_T liegt.

[3)] Gilt nur für Düngemittel, die aus Verbrennungsprozessen stammen. Als $Cr^{(VI)}$.

Quelle: *Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz 2000*

hohen Chrom-Gehalten. Kaliumreindünger finden allerdings nur noch geringe Verwendung.

Die Schwermetallgehalte der wesentlichen Kalidüngemittel sind in Tab. VII 3.2-11 dargestellt.

[1] Körschens, M., Reinhold, J.: Einordnung von Komposten in die „Gute fachliche Düngungspraxis“ unter besonderer Berücksichtigung der Humusversorgung landwirtschaftlicher Böden. unveröffentlicht 2004
[2] Bergs C. G. (2000): Rechtliche Grundlagen für die Verwertung von Komposten und anderen Bioabfällen im Landbau, Müllhandbuch, Kennzahl 6502.
[3] Reinhold, J. (2004): Neubewertung von Kompostqualitäten. UBA-Texte 15/04
[4] Winkler, C., Grafe, A. (2000): Charakterisierung und Verwertung von Abfällen aus der Massentierhaltung. UBA Texte 44/2000
[5] Kühne und Aghte (1998): Persönliche Mitteilung in „Charakterisierung und Verwertung von Abfällen aus der Massentierhaltung“, UBA Texte 44/2000
[6] Klärschlammverordnung (AbfKlärV) vom 15. April 1992 (BGBl I 1992 S. 912; 1997 S. 446)
[7] Boysen, P. (1992): Schwermetalle und andere Schadstoffe in Düngemitteln. UBA Texte 55/92
[8] KTBL (1995): Schwermetalle in der Landwirtschaft. Arbeitspapier 217
[9], [10], [11], LABO (2000): Kadmiumanreicherung in Böden/ einheitliche Bewertung von Düngemitteln. Bericht der UMK-AMK-LABO-AG, Bericht wurde von der 26. ACK zur Kenntnis genommen

VII 3.3 Altlasten

Mit dem Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) wurden einheitliche altlastenrelevante Begriffsbestimmungen eingeführt. Im Sinne dieses Gesetzes sind:

- *Verdachtsflächen* Grundstücke, bei denen der Verdacht schädlicher Bodenveränderungen besteht.
- *Altlastverdächtige Flächen* Altablagerungen und Altstandorte, bei denen der Verdacht schädlicher Bodenveränderungen oder sonstiger Gefahren für den einzelnen oder die Allgemeinheit besteht.
- *Altlasten*, zum Beispiel
  - stillgelegte Abfallbeseitigungsanlagen sowie sonstige Grundstücke, auf denen Abfälle behandelt, gelagert oder abgelagert worden sind (Altablagerungen), und
  - Grundstücke stillgelegter Anlagen und sonstige Grundstücke, auf denen mit umweltgefährdenden Stoffen umgegangen worden ist, ausgenommen Anlagen, deren Stilllegung einer Genehmigung nach dem Atomgesetz bedarf (Altstandorte), durch die schädliche Bodenveränderungen oder sonstige Gefahren für den Einzelnen oder die Allgemeinheit hervorgerufen werden.
- *Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen* sind sonstige Maßnahmen, die Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den Einzelnen oder die Allgemeinheit verhindern oder vermindern, insbesondere Nutzungsbeschränkungen der betroffenen Fläche und
- *Sanierungen* sind Maßnahmen
  - zur Beseitigung oder Verminderung der Schadstoffe (Dekontaminationsmaßnahmen),
  - die eine Ausbreitung der Schadstoffe langfristig verhindern oder vermindern, ohne die Schadstoffe zu beseitigen (Sicherungsmaßnahmen),
- zur Beseitigung oder Verminderung schädlicher Veränderungen der physikalischen, chemischen oder biologischen Beschaffenheit des Bodens.

VII 3.4 Altlastenerfassung, Gefährdungsabschätzung, Altlastensanierung

In Tab. VII 3.4-1 sind der Erfassungsstand und der Stand der Bearbeitung der altlastverdächtigen Flächen und Altlasten in der Bundesrepublik Deutschland angegeben.

Zur besseren Vergleichbarkeit werden bundesweite statistische Altlastendaten nach der folgenden abgestimmten Klassifizierung veröffentlicht:

- Altlastverdächtige Flächen/Altablagerungen/Altstandorte,
- Gefährdungsabschätzung abgeschlossenen,
- Altlasten,
- Altlasten in der Sanierung,
- Sanierung abgeschlossen,
- Anzahl der in Überwachungen befindlichen Flächen.

Tab. VII 3.2-11: *Schwermetallgehalte verschiedener Kali-Düngemittel[1)] in g/kg m_T*

Düngemittel	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Min. NPK-Dünger, 15/15/15 u. a.	3,78	45,8	11,3	0,06	10,9	14,8	116,0
Min. PK-Dünger, 0/15/20 u. a.	7,98	191,0	19,3	0,08	19,9	14,4	152,0
Thomaskali	0,30	928,0	19,0	n. b.	3,0	4,0	9,0
Kaliumchlorid, 40+6	0,08	3,5	2,9	0,02	1,5	0,5	3,7
Kaliumsulfat mit Mg, Patentkali	0,11	5,2	3,6	n. b.	4,1	2,5	17,4
Grenzwert nach DüMV	**1,5**	**2,0[2)]**	**70**	**1**	**80**	**150**	**1 000**

[1)] Nach Literaturangaben und Länderdaten; angegeben ist ein aus diesen Angaben abgeleiteter mittllerer Gehalt. Es wird darauf hingewiesen, dass die zugrunde liegenden Daten zum Teil ganz erhebliche Schwankungsbreiten aufweisen. Auf deren Darstellung wurde bewusst verzichtet, weil sie für die vorgenommenen modelhaften Ableitungen verzichtbar sind.
[2)] Gilt nur für Düngemittel, die aus Verbrennungsprozessen stammen. Als Cr(VI).

Quelle: Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz 2000

Tab. VII 3.4-1: *Bundesweite Übersicht zur Altlastenstatistik*

	Stand	Altlast-verdächtige Flächen	Altablage-rungen (AA)	Altstand-orte (AS)	Altlasten	Sanierung abge-schlossen	Gefähr-dungsab-schätzung abge-schlossen	Altlasten in der Sanierung	Über-wachungen
lfd. Nummer		1	1.1	1.2	2	3	4	5	6
Baden-Württemberg	12/2003	10 118	2 644	7 474	758	878	6 278	562	71
Bayern	03/2003	13 930	10 193	3 737	1 449	727	3 042	1 427	22
Berlin	02/2004	2 711	857	2 322	439	49	k. A.	69	54
Brandenburg	12/2003	20 080	6 703	13 377	959	2 244	k. A.	59	309
Bremen	06/2003	2 965	55	2 910	101	307	499	56	62
Hamburg	1/2004	2 317	420	1 933	236	347	3 070	54	34
Hessen	03/2004	666	316	350	444	228	582	659	125
Mecklenburg-Vorpommern	12/2003	8 546	3 648	4 898	642	742	596	256	355
Niedersachsen	02/2004	39 876	8 976	30 900	884	582	965	222	80
Nordrhein-Westfalen	12/2001	42 868	18 337	24 642	1 917	2 901	8 915	1 843 675	1 575
Rheinland-Pfalz	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Saarland	03/2004	1 807	1 671	136	412	26	588	28	139
Sachsen	04/2003	30 073	7 655	22 418	1 630	2 837	7 828	1 151	1 538
Sachsen-Anhalt	11/2003	19 443	5 985	13 958	104	617	1 470	44	4
Schleswig-Holstein	12/2002	18 508	2 412	16 096	162	624	1 726	86	k.A.
Thüringen	11/2003	16 650	5 556	11 094	458	489	1 612	109	9

Anmerkungen der einzelnen Bundesländer zu den Zahlenangaben:
(Lfd. Nummern beziehen sich auf die vorstehende Tabelle.)
Baden-Württemberg: Lfd. Nr. 6: Die Zahlenangabe der Überwachungen bezieht sich nur auf Nachsorgemaßnahmen für sanierte Flächen.
Bayern: Keine Fußnoten zu den Kennzahlen. Zustätzliche Angabe von abgeschlossenen Amtermittlungen gem. § 9 Abs. 1 BBodSchG: 4 565 (AA 2 032/AS 2 533).
Berlin: Lfd. Nrn. 1, 2 und 6: Auswertung möglich, da Angabe im Berliner Bodenkataster, jedoch haben viele Bezirke diese Eingabe noch nicht ergänzt. Von 7 894 Katasterflächen sind derzeit 5 152 nach dem BBodSchG kategorisiert.
Lfd. Nrn. 1.1 und 1.2: Auswertung eingeschränkt möglich, da es einer Verknüpfung von „altlastverdächtige Fläche" mit einer „Fallkategorie" entspricht. Doppelnennungen sind nicht auszuschließen. Grund: Für eine Fläche können mehrere Fallkategorien zutreffen. Die Summe der Fallkategorie „Branchenstandorte" und „Altablagerung" ist deshalb größer als die Anzahl der „altlastverdächtigen Flächen".
Lfd. Nr. 3: Die Angabe bezieht sich auf Altlasten, die insgesamt saniert und befreit wurden. Nach der Einschätzung des Landes Berlin ist diese Angabe nicht differenziert. Viele Sanierungsmaßnahmen werden pfadbezogen, auf Teilflächen und/oder baubegleitend durchgeführt. Unklar ist, ob hier die Maßnahme, d. h. auch Teilsanierungen oder die Befreiung einer Fläche vom Verdacht auf schädliche Bodenveränderungen oder Altlasten vordergründig ist. In diesen Fällen würde sich die Zahl erhöhen: Teilsanierungen: 110, Befreiung hinsichtlich GW-Pfad: 7, Befreiungen von Teilflächen: 29.
Lfd. Nr. 4: Problematische Angabe, da hier ein Bearbeitungsstand abgefragt wird. Die hier gewünschte Angabe ist aus Sicht des Landes Berlins unbrauchbar und findet sich in anderen Angaben nach BBodSchG und BBodSchV wieder, die für sinnvoller gehalten werden: a) Nach Erkundung von Verdacht auf schädlichen Bodenveränderung befreit, b) Flächen mit Nachweis einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast.
Angaben zu abgeschlossenen Gefährdungsabschätzungen von altlastverdächtigen Flächen im Hinblick auf Befreiung: a) Befreiung vom Verdacht Gesamtflächen: 187, b) Befreiung hinsichtlich GW-Pfad: 42, c) Befreiung von Teilflächen: 48.
Lfd. Nr. 5: Problematische Angabe, da Bearbeitungsstand abgefragt wird. Eine stetige Pflege und Aktualisierung des Feldes „Bearbeitungsphase" wird vorausgesetzt.
Brandenburg: Lfd. Nr. 4: Auf der Grundlage des derzeitigen ISAL-Fragenkatalogs zzt. nicht ermittelbar. Keine Angabe möglich, da Flächen, für die nach der Gefährdungsabschätzung der Verdacht ausgeräumt ist, nicht ermittelt werden können. Ende 2004 wird es mit einer neuen Software möglich sein, die fehlende Kennziffer zu liefern. Zusätzliche Angabe von „Flächen ohne Einstufung in Kategorien": 1 555.
Bremen: Die Zahlen sind unter Bezugnahme auf die aktuellen Definitionen zurzeit lediglich Schätzwerte. Das bremische Altlastenkataster wird zurzeit aufgearbeitet und neu strukturiert.
Hamburg: Es handelt sich noch um vorläufige Zahlen, da das Altlastenhinweiskataster in Hamburg zurzeit fachlich und datenbanktechnisch umgestellt wird. Lfd. Nr. 3: Ohne Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen, z. T. mit laufendem Sanierungsbetrieb; Lfd. Nr. 4: Ohne Altlasten in Detailuntersuchung; Lfd. Nr. 5: Ohne Sanierungsuntersuchung und -planung; ohne private Maßnahmen; Lfd. Nr. 6: Überwachung als Maßnahme nach erfolgter Gefährdungsabschätzung oder Sanierung.
Hessen: Lfd. Nr. 1: Für die angegebenen Flächen besteht ein hinreichender Verdacht gemäß § 9 Abs. 2 BBodSchG. Dieser wurde per Bescheid festgestellt. In Hessen sind zum genannten Stichtag insgesamt 6 800 Altablagerungen (davon 212 mit sehr hohem Gefährdungspotential nach Vornutzung bzw. Ablagerungsklasse) und 101 682 Altstandorte (davon 20 005 mit sehr hohem Gefährdungsgrad nach Vornutzung bzw. Branchenklasse) bekannt und erfasst. Eine Gefährdungsabschätzung ist noch nicht auf allen Standorten erfolgt. Lfd. Nr. 6: Die Zahlenangaben der Überwachungen bezeiht sich nur auf Nachsorgemaßnahmen für sanierte Flächen.
Mecklenburg-Vorpommern: Lfd. Nr. 1: Die genannte Anzahl umfasst nur zivile altlastverdächtige Flächen. Lfd. Nrn. 2,3,5: Die zahlenmäßige Erfassung ist insbesondere wegen inhaltlicher Änderungen des Erfassungsprogramms, die erst im letzten Quartal 2003 vorgenommen wurden, noch nicht abgeschlossen. Lfd. Nr. 6: Die genannte Anzahl umfasst nicht nur Überwachungen von Altlasten, sondern auch Überwachungen von altlastverdächtigen Flächen.
Niedersachsen: Lfd. Nr. 1.2: Die Zahl der altlastverdächtigen Altstandorte wird noch steigen, da die Erfassung zurzeit noch durchgeführt wird. Lfd. Nr. 3: Die angegebene Zahl beinhaltet sowohl erfolgreich abgeschlossene Sanierungen (451) als auch Teilsanierungen (Teilflächen saniert, 131).
Nordrhein-Westfalen: Lfd. Nrn. 1 und 2: Die Zahlenangaben sind indirekt ermittelt worden, da in NRW bisher nicht zwischen altlastverdächtigen Flächen und Altlasten unterschieden wurde. Zurzeit befindet sich das Fachinformationssystem Altlasten und schädliche Bodenveränderungen (FIS AlBo) im Aufbau. Die o. g. Unterscheidung ist darin vorgesehen. Die zurzeit in den zuständigen Unterbehörden für Bodenschutz laufenden Jahresstatistikabfrage werden erstmals Differenzierungen in altlastverdächtige Flächen, Altlasten und Flächen, für die der Verdacht ausgeräumt wurde, abgefragt. Lfd. Nr. 4: Die Zahlenangabe bezieht sich auf alle abgeschlossenen Gefährdungsabschätzungen inkl. der Flächen, für die der Altlastverdacht ausgeräumt wurde. Lfd. Nr. 5: Zuzeit nur eine getrennte Angabe der laufenden und abgeschlossenen Sanierungsuntersuchungen bzw. der laufenden Sanierungen möglich, da diese Zahlen getrennt abgefragt werden und bei Addition eine Doppelerfassung nicht ausgeschlossen werden kann. Im FIS AlBo wird für jede Fläche der aktuelle Verfahrensstand angegeben werden können, so dass dann eine eindeutige Zahlenangabe möglich sein wird. Lfd. Nr. 6: Die Zahlenangabe ist die Summe aus den laufenden Überwachungen nach der Gefährdungsabschätzung und nach der Sanierung.
Saarland: Keine Fußnoten zu den Kennzahlen
Sachsen: Alle Angaben beziehen sich auf Teilflächen. Lfd. Nr. 4: Inkl. Fälle, in denen der Altlastverdacht aufgrund der derzeitigen Nutzung ausgeräumt ist. Lfd. Nr. 5: Abgeschlossene Sanierungsuntersuchungen. Keine Aussage möglich, ob Sanierung begonnen wurde. Lfd. Nr. 6: Zahlenangabe beinhaltet sowohl Überwachungen nach orientierender Untersuchung, Detailuntersuchung und Sanierungsuntersuchung als auch im Rahmen der Nachsorge für sanierte Flächen.
Sachsen-Anhalt: Keine Fußnoten zu den Kennzahlen.
Schleswig-Holstein: Lfd. Nr. 1: Schätzzahl für Altstandorte; Zahl der Altablagerungen u. U. ohne sanierte Flächen. Lfd. Nr. 2: Zahlenangabe ohne Altlasten, für die nur Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen angeordnet wurden. Lfd. Nr. 4: Anzahl der abgeschlossenen Gefährdungsabschätzungen nicht eindeutig ermittelbar. Für 292 Altablagerungen und 112 Altstandorte wurde eine Überwachung gemeldet. Dabei könnte es sich um Überwachungen während bzw. nach der Sanierung handeln. Lfd. Nr. 6: Zahl der Überwachungen nach der Gefährdungsabschätzung kann nicht gesondert ermittelt werden, da die zuständigen Unterbehörden für Bodenschutz auch eine Vielzahl von Überwachungen melden, die während der Gefährdungsabschätzung stattfinden.
Thüringen: Keine Fußnoten zu den Kennzahlen.

Quelle: *Umweltbundesamt 2004 a*

Die von den Ländern zur Verfügung gestellten Daten enthalten zahlreiche Erläuterungen (z. B. Hinweise auf Doppelnennungen, Eingrenzung der Aussagekraft der Daten, Hinweise auf Schätzwerte, die auf der Basis des jeweiligen Altlastenkatasters für diese Statistik ermittelt wurden).

Großprojekte der Altlastensanierung in den neuen Ländern

Um Investitionen auf altlastbehafteten Industriestandorten im Bereich der Treuhandanstalt (THA) zu fördern sowie Arbeitsplätze zu erhalten und zu schaffen, verständigten sich im Dezember 1992 der Bund und die THA mit den Ländern Berlin, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen auf eine gemeinsame Finanzierung dieser Aufgaben. Zu diesem Zweck wurde das Verwaltungsabkommen über die Regelung der Finanzierung der ökologischen Altlasten geschlossen.

Es regelt die anteilige Finanzierung von Maßnahmen durch den Bund und die Länder. Voraussetzung ist eine Freistellung der Investoren von der Verantwortlichkeit und den Kosten für alle Umweltschäden, die vor dem 01.07.1990 entstanden sind, durch die zuständigen Landesbehörden gemäß Umweltrahmengesetz/Hemmnisbeseitigungsgesetz. Nach einer Freistellung werden die gegenüber den Ländern geltend gemachten Ansprüche im Verhältnis 60 (Bund) zu 40 (Länder) geteilt. Für die ökologischen Großprojekte wurde ein Kostenschlüssel von 75 (Bund) zu 25 (Länder) festgelegt. Diese Kosten verringern sich um den Betrag, der vom Käufer eines THA-Unternehmens übernommen wird.

Unter dem Vorsitz des Bundesfinanzministeriums und des Bundesumweltministeriums wurde eine Gemeinsame Arbeitsgruppe Bund/THA (seit Januar 1995 BvS)/Länder eingerichtet, die nach den im Verwaltungsabkommen genannten Kriterien 21 industrielle Großprojekte einstimmig festlegte. Die Grundlage für Maßnahmen und deren Finanzierung bilden die Verpflichtungen der THA gegenüber den Investoren gemäß den Altlastenklauseln in den jeweiligen Privatisierungsverträgen.

Zur Beschleunigung der Umsetzung des Verwaltungsabkommens einigten sich Bund und Länder im Jahre 1996 darauf, dass die Höhe der Refinanzierungsverpflichtungen des Bundes für ein Großprojekt dann abschließend verbindlich vereinbart (pauschaliert) werden kann, falls bestimmte fachliche Voraussetzungen erfüllt sind. Mit dem Abschluss solcher Vereinbarungen geht die alleinige Verantwortung für die weitere Altlastenbearbeitung in den Großprojekten auf das jeweilige Land über.

Zwischen 1996 und 2000 wurden daraufhin für acht Großprojekte Vereinbarungen zwischen den jeweiligen Ländern und der BvS über die Refinanzierungsverpflichtungen des Bundes abgeschlossen (Werftenstandorte Rostock, Stralsund, Wismar in Mecklenburg-Vorpommern, Großprojekte TVW Rositz und Kali Südharz/Kali Werra in Thüringen, Großprojekte Mansfeld und Magdeburg-Rothensee in Sachsen-Anhalt sowie das Großprojekt Saxonia Freiberg). Die Bearbeitung des Großprojektes Dresden-Coschütz wurde 2001 regulär beendet.

Im Jahre 1999 schloss der Freistaat Thüringen als erstes Bundesland mit der BvS einen Generalvertrag über die abschließende Finanzierung der ökologischen Altlasten. Mit der Abgeltung sämtlicher Refinanzierungsverpflichtungen des Bundes und der BvS aus dem Verwaltungsabkommen wurde das Einvernehmensprinzip aufgehoben. Damit geht die Zuständigkeit für die weitere Umsetzung aller dem Verwaltungsabkommen unterfallenden Projekte einschließlich der Verwendung der Mittel auf das Land über, ohne dass ein weiteres Einvernehmen mit Bund und BvS erforderlich ist. Zum Abschluss weiterer Generalverträge kam es im Jahre 2001 mit Sachsen-Anhalt und 2003 mit Mecklenburg-Vorpommern.

In weiterer Bearbeitung nach der bisherigen Regelung befinden sich die Großprojekte Region Industriegebiet Spree, im Land Brandenburg die Großprojekte Region Oranienburg, Stadt Brandenburg, BASF Schwarzheide und PCK Schwedt sowie die sächsischen Großprojekte SOW Böhlen und Lauta.

Braunkohlesanierung

Das Großprojekt „Braunkohlesanierung“ hat die Aufgabe, stillgelegte Tagebaue und Altstandorte der Braunkohleveredelung zu sanieren und einer Nachnutzung zuzuführen. Das Bundesunternehmen LMBV (Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbauverwaltungsgesellschaft mbH) führt dieses größte zusammenhängende Umweltprojekt Deutschlands als Projektträger des Bundes und der Länder durch.

Seit Beginn der Braunkohlesanierung wurden vom Bund und den Braunkohleländern Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen auf der Grundlage eines Verwaltungsabkommens bereits rd. 7,5 Mrd. Euro bereitgestellt. Für die Jahre 2003 bis 2007 ist ein Finanzrahmen von insgesamt 1,7 Mrd. Euro festgelegt, den sich Bund und Länder im Verhältnis 75:25 teilen. Die Sanierungsflächen von ursprünglich insgesamt 1200 km^2 werden zu rd. 50 % in land- und forstwirtschaftliche Flächen umgewandelt, 27 % werden zu Wasserflächen, auf rd. 18 % entstehen Naturschutzflächen, auf 3 % Gewer-

be- und Industrieflächen. Die eindrucksvollen Seenlandschaften, die in der Lausitz und im mitteldeutschen Revier entstehen, sind von hoher Attraktivität für Freizeit und Erholung.

VII 4 Nichtstofflicher Bodenschutz

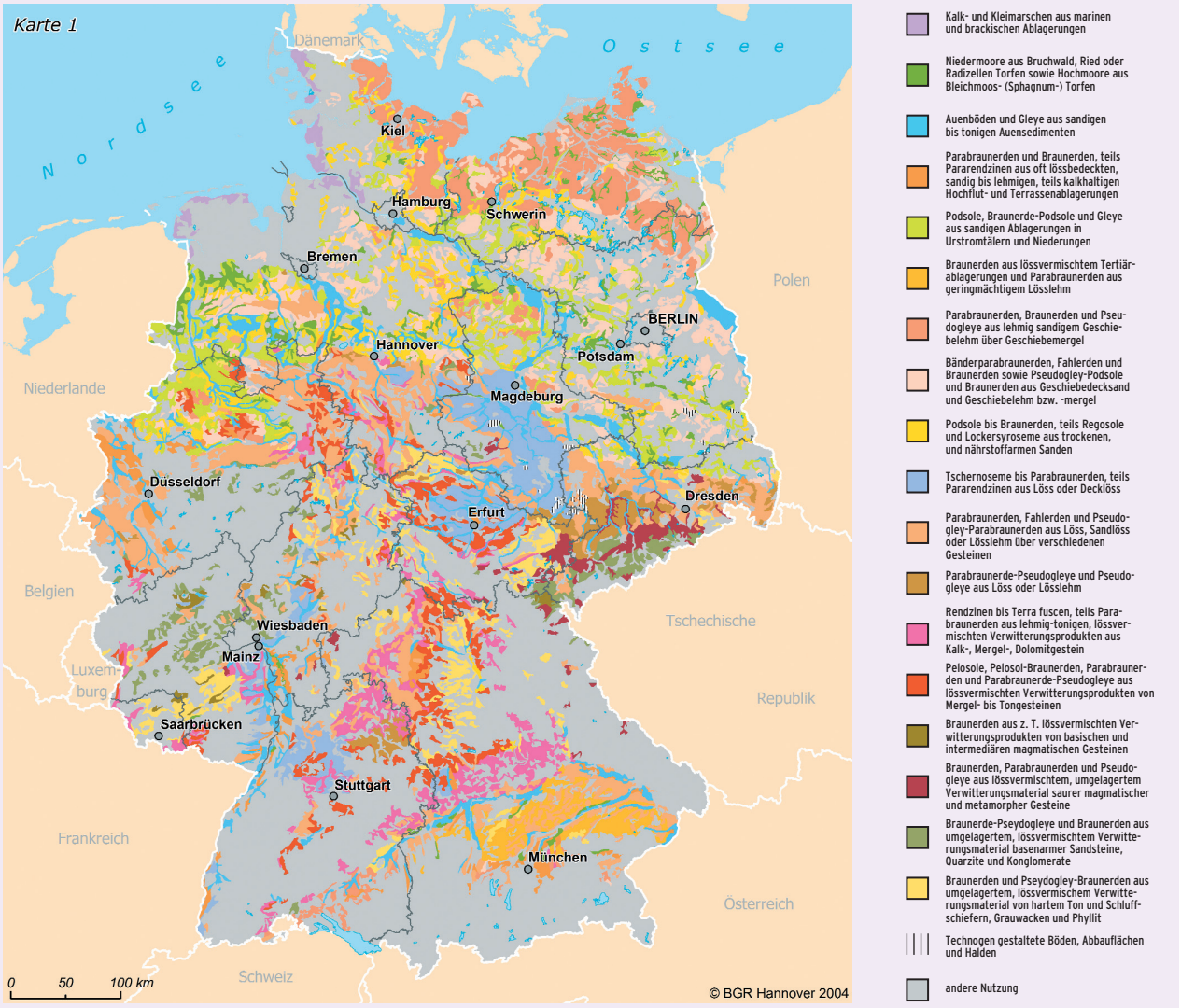
VII 4.1 Erosionsrisiko

Das Prozessgeschehen der Bodenerosion durch Wasser wird durch die Charakteristik des Regengeschehens, die Eigenschaften des Bodens, Hanglänge und -neigung, Bedeckung und Bearbeitung des Bodens sowie die Art der Erosionsschutzmaßnahmen gesteuert. Den Anteil der Gefährdung, der allein auf natürliche Standortfaktoren ohne anthropogene Einflüsse zurückgeht, bezeichnet man als natürliche Erosionsdisposition oder potenzielle Erosionsgefährdung.

Bodenerosion durch Wasser ist unter mitteleuropäischen Klimabedingungen auf Grünland- und Waldflächen vernachlässigbar. Daher beschränkt sich die Betrachtung hier auf die überwiegend ackerbaulich genutzten Flächen, die aus dem Landnutzungsmodell CORINE Land Cover identifiziert wurden. Zur Ermittlung der potenziellen Erosionsgefährdung durch Wasser wurden neben Boden- und Landnutzungsdaten auch Relief- und Klimainformationen herangezogen. Der Einfluss des Reliefs wurde nach Rasterdaten der Neigungsstufen in einer räumlichen Auflösung von 50 m beurteilt. Zur Erfassung der Erosivität des Niederschlags im bundesweiten Maßstab wurde auf eine Isoerodentenkarte zurückgegriffen, die auf langfristigen Niederschlagsdaten von 139 Klimastationen basiert.

Die Abbildung VII 4.1-1 zeigt in einer bundesweiten Übersichtsdarstellung die vorwiegend ackerbaulich genutzten Böden. Datengrundlage ist die Bodenübersichtskarte von Deutschland im Maßstab 1:1 000 000

Abb. VII 4.1-1: *Nutzungsdifferenzierte Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland – Auszug Ackerböden –*

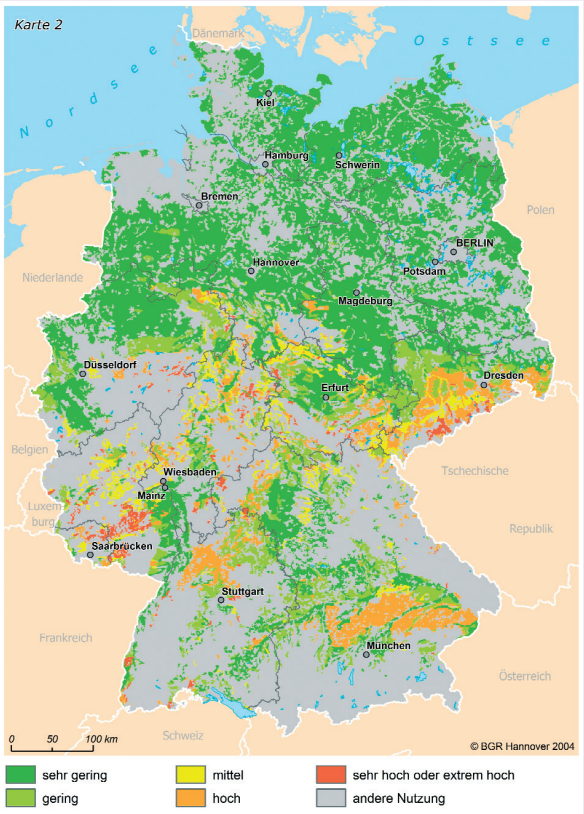


Quelle: *Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 2004*

(BÜK 1000), hier verkleinert auf den Maßstab 1:5 000 000 aus dem Datenbestand des Fachinformationssystems Bodenkunde der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (FISBo BGR).

Wie aus Abb. VII 4.1-2 hervorgeht, fallen mehr als 50 % der beurteilten Flächen des Bundesgebietes in die Klassen sehr geringer und geringer potenzieller Erosionsgefährdung. Eine für bundesweite Übersichtsdarstellungen konzipierte Klasseneinteilung lässt Norddeutschland vergleichsweise undifferenziert erscheinen und bietet trotz unterschiedlicher Morphogenese keine räumliche Trennung von Alt- und Jungmoränengebieten. Selbst in den Lössverbreitungsgebieten fallen weite Teile der Magdeburger Börde oder des Thüringer Beckens in Bereiche sehr geringer Erosionsgefährdung, weil Schwarzerden günstiger Gefügeentwicklung und geringe Hangneigungen eine höhere Einstufung verhindern. Eine bereits geringfügig höhere Gefährdung lassen die Böden der Sandlössgebiete erkennen. Schwerpunktgebiete der potenziellen Wassererosionsgefährdung sind das bayerische Tertiärhügelland, Erzgebirge und Erzgebirgsvorland, der Kraichgau sowie das Pfälzisch-Saarländische Stufenland und das Saar-Nahe-Bergland. Bei einzelnen Flächen in Südwestdeutschland ist allerdings zu berücksichtigen, dass durch die Zusammenfassung von Ackerflächen und Dauerkulturen auch Weinbauflächen in die Betrachtung mit einbezogen werden [1].

Abb. VII 4.1-2: *Erosionsgefährdete Flächen in Deutschland*



Quelle: *Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 2004*

VII 4.2 Maßnahmen

Anpassungsmaßnahmen in der Landwirtschaft

Erosionsschutzmaßnahmen bei der Bodenbearbeitung wie das Pflügen quer zum Hang (Konturpflügen), Minimalbodenbearbeitung, Mulchsaaten, Untersaaten oder Zwischenfruchtanbau tragen ebenfalls erheblich zur Reduzierung der Abtragsraten bei. Bodenschonende Bearbeitung (z.B. Konturpflügen) und erosionsmindernde Maßnahmen reduzieren die in der Tabelle angegebenen Modellwerte um jeweils die Hälfte. Der reale jährliche Bodenabtrag ist regional sehr unterschiedlich und ist abhängig von der individuellen Bodenbearbeitung des einzelnen Betriebes und eventuell bereits durchgeführten Erosionsschutzmaßnahmen. Die nutzungsabhängige Erosionsgefährdung, die aus der allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) errechnet wird, muss vor dem Hintergrund der jeweiligen regionalen Standortverhältnisse und dem vorherrschenden Bodenmanagement betrachtet werden. Hinsichtlich der tatsächlichen Bodengefährdung und eines eventuellen Handlungsbedarfs ist daher eine differenzierte Untersuchung des Abtragsrisikos am Standort notwendig. Während die räumliche Variabilität der Erosionsgefährdung hauptsächlich von den Standortbedingungen abhängig ist, wird die Menge an abgetragenem Material entscheidend von der Art der Bodenbedeckung und dem Einsatz von Erosionsschutzmaßnahmen bestimmt.

[1] Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) 2004

VIII ÖKOSYSTEME UND BIOLOGISCHE VIELFALT

Ökosysteme sind Einheiten, die alle Organismen in einem gegebenen Areal sowie deren Beziehungen untereinander und zur anorganischen Umwelt umfassen. Die Organismen innerhalb eines Ökosystems bilden eine Lebensgemeinschaft, eine Biozönose; den Lebensraum einer Biozönose bezeichnet man als Biotop. Im Laufe der Entwicklung stellen sich häufig mehr oder weniger stabile ökologische Zustände ein, die durch zahlreiche miteinander vernetzte Stoffkreisläufe aufrechterhalten werden. Anthropogene Belastungen können Ökosysteme je nach Stärke in kurzer Zeit in ihrer Stabilität beeinträchtigen und sogar irreversibel zerstören.

Der Begriff „biologische Vielfalt“ umfasst drei verschiedene Ebenen:

- die Vielfalt an Ökosystemen,
- die Artenvielfalt und
- die genetische Vielfalt innerhalb von Arten.

Weltweit findet derzeit ein dramatischer, weitgehend durch die anthropogenen Aktivitäten hervorgerufener Rückgang der biologischen Vielfalt statt. Man schätzt beispielsweise, dass menschliche Einflüsse den Artenschwund tausend- bis zehntausendfach im Vergleich zur natürlichen Rate verstärkt haben. Neben Einflüssen, welche die biologische Vielfalt direkt betreffen (Jagd, Fischerei), wird durch den Menschen vor allem die abiotische und biotische Umweltqualität verändert, die dann auf die Ausprägung der biologischen Vielfalt wirkt. Um dem dramatischen Rückgang der biologischen Vielfalt Einhalt zu gebieten, wurde 1992 auf der UN-Konferenz „Umwelt und Entwicklung“ das Übereinkommen über die biologische Vielfalt geschlossen, das die Erhaltung der biologischen Vielfalt, die nachhaltige Nutzung ihrer Bestandteile sowie die ausgewogene und gerechte Aufteilung der sich aus der Nutzung der genetischen Ressourcen ergebenden Vorteile zum Ziel hat [1]. Dabei soll die ökologische Tragweite Maßstab für die ökonomischen und sozialen Entscheidungen sein. Die Biodiversitätskonvention verpflichtet die Staaten, eine Biodiversitätsstrategie zu entwickeln und bestehende Pläne auf ihre Verträglichkeit bezüglich des Schutzgutes Biodiversität hin zu prüfen.

Auf europäischer Ebene wird seit 1995 eine Strategie zur Integration des Schutzes der biologischen Vielfalt in die sektoralen Politiken mit dem grundsätzlichen Ziel entwickelt, den Biodiversitätsschwund bis zum Jahr 2010 zu stoppen. Die europäische Union hat sich im sechsten Aktionsprogramm auf die Anwendung des Ökosystemansatzes geeinigt, nach dem ein Gleichgewicht zwischen dem Schutz und der Nutzung der biologischen Vielfalt unter Einbeziehung aller einschlägigen Bereiche der Gesellschaft und der wissenschaftlichen Disziplinen erreicht werden soll [2].

[1] Convention on Biological Diversity (CBD) of the Conference of the United States 1992 in Rio de Janeiro
[2] Beschluss Nr. 1600/2002/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Juli 2002 über das sechste Umweltaktionsprogramm der Europäischen Gemeinschaft; Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 242/2 vom 10.09.2002

VIII 1 Bestand und Gefährdungssituation

VIII 1.1 Gefährdung der wild lebenden Pflanzen- und Tierarten

Seit Beginn der Industrialisierung im neunzehnten Jahrhundert beschleunigt sich weltweit der Artenverlust.

Nach der Internationalen Naturschutzunion IUCN gelten etwa ein Zehntel aller Vogelarten und ein Viertel der Säugetiere weltweit als bedroht [1]. Für solche Artengruppen, von denen bislang wahrscheinlich nur weniger als 10 % des Gesamtbestandes erforscht wurden, könnte der Anteil der bedrohten Arten bei mehr als einem Drittel liegen.

Von der bewerteten Gesamtzahl der Gefäßpflanzenarten gelten weltweit rund 12 % als bedroht [2]. Es ist davon auszugehen, dass nicht alle derzeit vorhandenen Arten erfasst werden können, da viele Arten noch vor ihrer Entdeckung ausgestorben sein werden [1].

Deutschland kommt im weltweiten Maßstab die besondere Verantwortung für den Erhalt einer ganzen Reihe an Arten auf seinem Staatsgebiet zu. Dabei handelt es sich um Arten, die entweder nur in Deutschland vorkommen oder hier ihren Schwerpunkt haben oder aber um solche Arten, die weltweit als gefährdet anzusehen sind und bei denen Deutschland noch zum Hauptareal gehört [3]. Außerdem besitzt Deutschland eine besondere Verantwortlichkeit für Bestände von Arten, die hochgradig isolierte Vor- oder Außenposten darstellen, die genetische Besonderheiten besitzen oder erwarten lassen (Kriterien siehe [3]). Darüber hinaus trägt Deutschland Mitverantwortung für den Erhalt der biologischen Vielfalt auf der europäischen und nationalen Ebene.

Nach Schätzungen des Bundesamtes für Naturschutz beträgt die Aussterberate der Farn- und Blütenpflanzen seit etwa 1850 31 Arten pro Dekade [3]. Hauptursache des Artenrückgangs ist die direkte Standortzerstörung, durch die rund 540 Arten betroffen sind. Weitere Ursache des Artenrückgangs sind landwirtschaftliche Maßnahmen wie die Nutzungsaufgabe und -intensivierung, vor allem auf bisher extensiv bewirtschaftetem Grün- und Ackerland. Ebenso bedrohen Nährstoffeinträge und die Unterbindung der natürlichen Dynamik die Artenvielfalt.

Für Tierarten sind die Ursachen des Artenrückgangs pro Artengruppe unterschiedlich. Doch für viele Tierartengruppen sind die fortschreitende Landschaftszerschneidung, Flächeninanspruchnahme, Kanalisierung, Begradigung von Fließgewässern bzw. Unterbindung der natürlichen Auendynamik und Grundwasserabsenkung sowie Versauerungs- und Eutrophierungsprozesse wesentliche Gefährdungsursachen. Ein bekanntes Instrument zur Erfassung der Gefährdungssituation im Artenschutz bilden die Roten Listen. Jedoch geht in diese Listen nicht die Gesamtzahl der heimischen Arten ein [4]. Die Rote Liste gefährdeter Tiere Deutschlands beinhaltet neben Roten Listen zu allen Wirbeltieren auch viele Gruppen der Wirbellosen. Insgesamt sind von circa 45 000 heimischen Tierarten mehr als 16 000 Arten (35 %) hinsichtlich ihrer Gefährdung bewertet worden [5]. Zukünftig sollen auch einige weitere Tiergruppen, z. B. Tiere der Bodenfauna, in die Bewertung aufgenommen werden [6]. Für die Rote Liste der Pflanzen wurden von den 28 000 in Deutschland beheimateten Arten 13 835 Arten (knapp 50 %) auf ihre Gefährdung hin untersucht und bewertet [7]. Innerhalb dieses untersuchten Ausschnittes aus der Gesamtartenzahl in Deutschland sind nur ca. 50 % sowohl der Pflanzen- als auch der Tierarten nicht gefährdet [8].

[1] International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (2004): 2004 IUCN Red List of threatened species; numbers of threatened species by major groups of organisms (1996–2004): http://www.redlist.org [Stand 14.12.2004]

[2] Walter, K. S., Gillett, H. J. [Hrsg.] (1998): 1997 IUCN Red List of threatened plants. – Gland (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources) 862 S.

[3] Bundesamt für Naturschutz (2004): Daten zur Natur 2004; Münster (Landwirtschaftsverlag).

[4] Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (SRU): Umweltgutachten 2004, Umweltpolitische Handlungsfelder sichern; Nomos Verlagsgesellschaft

[5] Binot, M., Bless, R., Boye, P., Gruttke, H., Pretscher, P. (Bearb.) (1998): Rote Liste gefährdeter Tiere Deutschlands; Bonn-Bad Godesberg: BfN Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 55

[6] Riecken, U., Binot-Hafke, M., Gruttke, H., Korneck, D. & Ludwig, G (2000): Fortschreibung und Perspektiven von bundesweiten Roten Listen. – BfN Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 65: 231–255.

[7] Ludwig, G., Schnittler, M. (1996): Rote Liste gefährdeter Pflanzen Deutschlands, Bonn: BfN, Schriftenreihe für Vegetationskunde 28

[8] Bundesamt für Naturschutz (2003): Rote Liste gefährdeter Tiere; Aktuelle Gefährdungssituation; http://www.bfn.de/03/030101.htm und 03/030102.htm [Stand 23.10.2003]

VIII 1.2 Biotoptypen

Nach Angaben des Bundesamtes für Naturschutz lassen sich in Deutschland insgesamt etwa 500 Biotoptypen unterscheiden (ohne rein technische Biotope wie Straßen, Gebäude und Deponieflächen).

Besonders für Fragen des Biotopschutzes und der flächenbezogenen Planung wurde 1994 ergänzend zu den Roten Listen gefährdeter Arten auch ein Verzeichnis gefährdeter Biotoptypen vorgelegt. Die Gefährdungsbeurteilung leitet sich aus einem dreizügigen Kriteriensystem ab, das zunächst den Flächenverlust (FL) als Maß der direkten Vernichtung und den Qualitätsverlust (QL) als Maß einer allmählichen Degradierung beurteilt. Ergänzend dazu wird für jeden Biotoptyp die Regenerationsfähigkeit bzw. Regenerierbarkeit (RE) abgeschätzt (Tab. VIII 1.2-1). Die beiden Kriterien Flächenverlust und qualitative Veränderung werden zunächst für acht Teilregionen der Bundesrepublik zu einem regionalen Gesamtwert zusammengeführt. Dieser hat jeweils den gleichen Wert wie die höchste Einstufung eines der Einzelkriterien. Der Mittelwert der regionalen Gefährdung ergibt die Gefährdungseinstufung für ganz Deutschland. Durch die Regenerationsfähigkeit wird ein bedeutender Teilaspekt der „Empfindlichkeit" von Biotopen abgebildet, um damit eine Schutzpriorität bei gleicher Gefährdungseinstufung begründen zu können. Darüber hinaus sind diese Angaben für die Abschätzung der Ausgleichbarkeit von Eingriffen in Natur und Landschaft geeignet.

Tab. VIII 1.2-1: *Gefährdungskriterien und -kategorien der Roten Liste Biotoptypen Deutschlands*

Kat. I	**Gefährdung durch Flächenverlust (FL)**
0	vollständig vernichtet
1	von vollständiger Vernichtung bedroht
2	stark gefährdet
3	gefährdet
p	potenziell gefährdet
*	derzeit vermutlich keine Gefährdung
Kat. II	**Gefährdung durch qualitative Veränderungen (QU)**
0	vollständig vernichtet
1	von vollständiger Vernichtung bedroht
2	stark gefährdet
3	gefährdet
*	derzeit vermutlich keine Gefährdung
Kat. III	**Einstufung der Regenerierbarkeit (RE)**
N	nicht regenerierbar
K	kaum regenerierbar (> 150 Jahre)
S	schwer regenerierbar (ca. 15–150 Jahre)
B	bedingt regenerierbar (bis 15 Jahre)
X	keine Einstufung sinnvoll

Quelle: *Riecken et al. 1994*

Eine Bilanzierung der Gefährdungssituation ergibt, dass in Deutschland über zwei Drittel (69 %) aller vorkommenden Biotoptypen als gefährdet eingestuft sind. Die Verteilung auf die einzelnen Gefährdungskategorien zeigt die Abb. VIII 1.2-1. Der geringe Anteil bereits ausgestorbener Biotoptypen (Kat. 0: 0,2 %) dokumentiert weniger eine relativ günstige Gesamtsituation als vielmehr den geringen Kenntnisstand über die Typen, die vor 100 bis 150 Jahren möglicherweise anzutreffen waren und vollständig verschwunden sind, ohne dass sie je beschrieben wurden. Entsprechend können in diese Kategorie nur die wenigen Biotoptypen aufgenommen werden, deren Vernichtung dokumentiert ist. Der mit über 15 % relativ hohe Anteil von völliger Vernichtung bedrohter Typen (Kat. 1) verdeutlicht jedoch, dass bei Fortwirken der Gefährdungsursachen mit dem vollständigen Verlust einer großen Zahl von Biotoptypen gerechnet werden muss. Rund ein Drittel der Biotoptypen ist stark gefährdet (Kat. 2). Auch der Kategorie p (potenziell gefährdet) konnten nur sehr wenige Biotoptypen zugeordnet werden (1 %). Der Grund dafür ist, dass die Mehrzahl der seltenen bzw. nur in einem geringen Teil Deutschlands verbreiteten Lebensraumtypen bereits einer konkreten Gefährdung (Kat. 1–3) unterliegt.

Die überwiegende Zahl der nach derzeitigem Kenntnisstand als „nicht gefährdet“ eingestuften Biotoptypen gehört zu den nicht besonders schutzwürdigen Typen (24,9 %), während nur sehr wenige schutzwürdige Biotope als ungefährdet eingestuft werden konnten (6,1 %).

Unter die „nicht besonders schutzwürdigen Typen“ fallen alle Lebensraumtypen, die aus naturschutzfachlicher Sicht negativ zu beurteilen sind (intensivlandwirtschaftlich genutzte Bereiche, Forste mit eingeführten Baumarten, sich im Betrieb befindende Abbaubereiche, Parkrasen, hypertrophe Gewässer und Säume usw.).

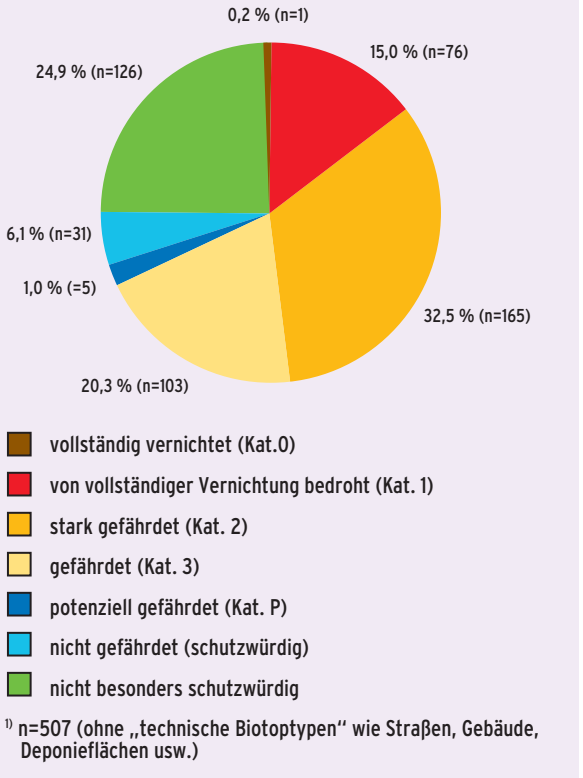
Die Gefährdung eines Biotoptyps ist u.a. auch von der Wiederherstellbarkeit oder Nichtwiederherstellbarkeit seiner Eigenart bzw. seiner „Regenerationsfähigkeit“ oder „Belastbarkeit“ abhängig. Unter „Regenerationsfähigkeit“ wird in diesem Zusammenhang sowohl das biotopeigene Potenzial zur selbständigen Regeneration nach Beendigung negativer Beeinträchtigungen als auch die Möglichkeit einer Wiederentwicklung („Regenerierbarkeit“) durch gestaltendes Eingreifen des Menschen (Biotopsanierung, -renaturierung, -neuschaffung usw.) verstanden.

Die „Regenerationsfähigkeit“ ist in der Regel von der benötigten Entwicklungszeit (oder gar der notwendigen historischen Kontinuität) und der Möglichkeit abhängig, geeignete abiotische Standort- und Rahmenbedingungen neu zu schaffen.

Unter dem Begriff Standortbedingungen werden zunächst die klassischen Parameter wie Feuchte, Nährstoffgehalt usw. verstanden. Er umfasst aber auch die konkrete „kulturhistorische Gesamtsituation“, die für die Entstehung bestimmter Biotoptypen verantwortlich war. Weiterhin wird die Regenerationsfähigkeit auch von einem Komplex gesamtlandschaftlicher Zusammenhänge beeinflusst. Hierzu zählt beispielsweise die Erreichbarkeit der hierfür vorgesehenen Flächen für typische Arten im Rahmen von Wiederbesiedlungsprozessen.

Rund 35 % der gefährdeten Biotoptypen wurden als nicht oder kaum regenerierbar (Kat. N bzw. K) eingestuft (Abb. VIII 1.2-2). Bei all diesen Typen ist davon auszugehen, dass Bestandseinbußen zumindest innerhalb planbarer bzw. überschaubarer Zeiträume weder im Rahmen natürlicher Entwicklungsprozesse noch durch gezielte Maßnahmen des Naturschutzes kompensiert werden können. In etwas abgeschwächter Form gilt dies auch für jene, die als schwer regenerierbar (Kat. S) gelten können. Nach derzeitigem Kenntnisstand sind nur 21 % der gefährdeten Biotoptypen in überschaubaren Zeiträumen (bis ca. 15 Jahre) bedingt regenerierbar (Kat B). Diese Informationen sind vor allem im Zusammenhang mit der Beurteilung der Ausgleichbarkeit von Eingriffen bedeutsam.

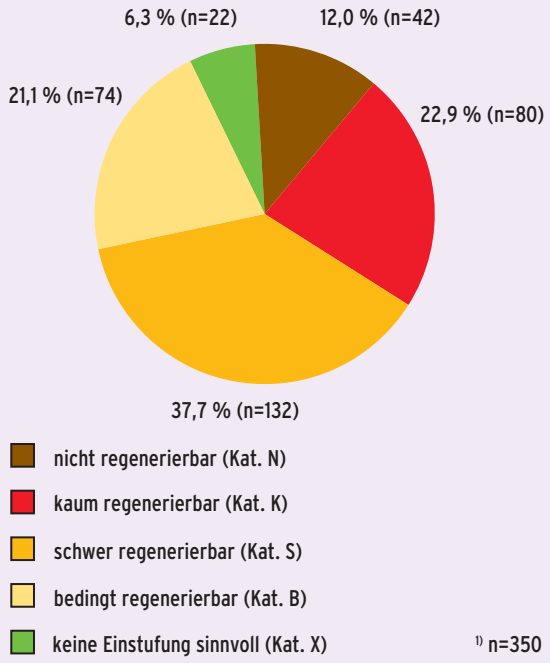
Abb. VIII 1.2-1: *Gefährdungssituation der Biotoptypen Deutschlands*[1)]



[1)] n=507 (ohne „technische Biotoptypen“ wie Straßen, Gebäude, Deponieflächen usw.)

Quelle: *Bundesamt für Naturschutz 2004*

Abb. VIII 1.2-2: *Regenerierbarkeit der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands*[1)]



Quelle: *Bundesamt für Naturschutz 2004*

Um dem gewachsenen Kenntnisstand und der bei einer Reihe von Biotoptypen festgestellten geänderten Gefährdungssituation Rechnung zu tragen, ist für das Jahr 2005 eine Neuauflage der Roten Liste der gefährdeten Biotoptypen vorgesehen.

VIII 1.3 Genetische Vielfalt

Genetische Vielfalt ist neben der Artenvielfalt und der Vielfalt an Ökosystemen der dritte Bestandteil der „biologischen Vielfalt". Sie umfasst die Vielfalt innerhalb der Arten und bezeichnet somit die genetische Variabilität zwischen Individuen und Populationen der gleichen Art. Genetische Vielfalt spielt dort eine besonders augenfällige Rolle, wo menschliche Nutzungen direkt von dieser Vielfalt abhängen. Dies ist beispielsweise der Fall im Bereich der Kulturpflanzensorten und Nutztierrassen. Hier ist durch die vom Menschen durchgeführten Züchtungsprozesse eine große Vielfalt an Unterarten, Rassen und Sorten entstanden, die beispielsweise an besondere Anbaubedingungen angepasst sind und die ihrerseits wiederum die Grundlage für weitere Züchtungsprozesse darstellen. Auch die moderne Landwirtschaft hängt von einer ausreichenden genetischen Vielfalt der Wild- und Zuchtformen bei den von ihr genutzten Arten ab, die beispielsweise eine Quelle von neuen Resistenzeigenschaften gegenüber Schädlingen und Krankheiten darstellt.

Eine ausreichende genetische Vielfalt ist jedoch auch unerlässlich für den Fortbestand von wild lebenden Arten, da nur beim Vorhandensein einer breiten genetischen Basis mit einer ausreichenden Zahl von Merkmalen und Merkmalskombinationen eine Art genügend evolutive Anpassungsfähigkeit besitzt, um sich an sich verändernde Umweltbedingungen (z.B. Klimaänderung) anpassen zu können.

Über Ausmaß, ökologische Bedeutung, historischen Wandel und Grad der Gefährdung der genetischen Populationen ist jedoch bisher vergleichsweise wenig bekannt. Wesentlich genauere Kenntnisse existieren hingegen im Falle von genetischen Ressourcen für die Landwirtschaft. Die genetische Vielfalt wild lebender Populationen ist im mitteleuropäischen Raum heutzutage vor allem durch anthropogene Veränderungen der Landschaft gefährdet. Lebensraumverluste und -reduktionen sowie die Zerschneidung der Landschaft durch Verkehrswege und überbaute Flächen können zu Auslöschung, Isolation, Fragmentierung und Verkleinerung von Populationen führen. Genetische Isolation führt oft zur Reduktion von Vielfalt innerhalb der Populationen und zur Erhöhung des Aussterberisikos. Weitere anthropogene Einflüsse, z.B. Stoffeinträge, können durch ihre Selektionswirkung ebenfalls die Vielfalt verringern.

Eine Verfälschung und Verminderung genetischer Vielfalt bei heimischen wild lebenden Organismen kann durch das Einbringen von Individuen der gleichen Art, aber mit anderer geographischer Herkunft erfolgen, beispielsweise bei Wiedereinbürgerungs- oder Auswilderungsaktionen oder bei Pflanzungen und Aufforstungen. Dies kann schwerwiegende ökologische Folgen haben. Zum Beispiel können sich bei der Verwendung von gebietsfremdem Pflanzgut Gene in die heimischen (autochthonen) Populationen einkreuzen, die z.B. den Blühtermin verändern, was wiederum Auswirkungen auf blütenbestäubende Insekten hat.

Die genetische Vielfalt wild lebender heimischer Organismen kann vor allem durch die Erhaltung im Lebensraum („in situ") sowie durch den Artenschutz gefördert werden. In begrenztem Maße und für eine beschränkte Zahl von wild lebenden Arten ist auch eine Erhaltung außerhalb des Lebensraumes („ex situ") möglich, beispielsweise in den etwa 34 großen Zoologischen und den ca. 90 Botanischen Gärten und Arboreten in Deutschland sowie in weiteren Sammlungen, Gen- und Samenbanken.

Über die genetischen Ressourcen in Deutschland bietet das Bundesinformationssystem Genetische Ressourcen (BIG), das als Verbundprojekt von vier Partnerinstitutionen unterhalten wird, etwa 150 000 Informationen online an (www.big-flora.de).

Das Bundesamt für Naturschutz (BfN) stellt Datenbanken über Arteninventar (in situ), Verbreitung, Bestandssituation und Ökologie der einheimischen Wildpflanzen zur Verfügung (www.floraweb.de); der Botanische Garten der Ruhr-Universität Bochum (RUB) erfasst über den Verband Botanischer Gärten die Pflanzenbestände der Botanischen Gärten in Deutschland (ex situ); das Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK) in Gatersleben unterhält die Datenbank der fast 100 000 Kulturpflanzen-Akzessionen der Genbank (ex situ) und pflegt die Datenbank zu „Mansfeld's World Manual of Agricultural and Horticultural Crops"; das Informationszentrum Biologische Vielfalt (IBV) der Zentralstelle für Agrardokumentation und -information (ZADI) bietet fruchtartenspezifische Datenbanken und pflegt die zentrale Datenbank deutscher pflanzengenetischer Ressourcen (www.zadi.de). Weitere Informationen in Kap. VIII 3.1.

VIII 1.4 Artenindex

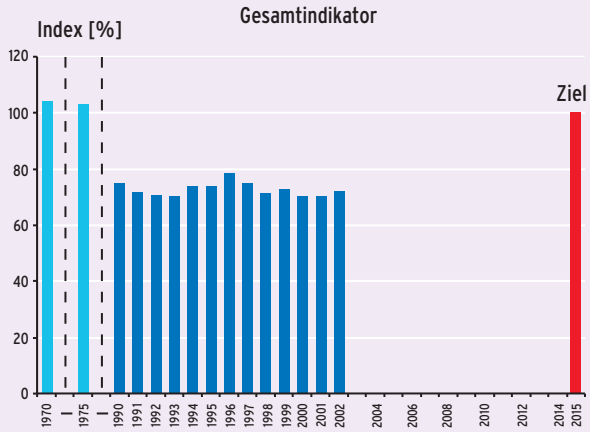
Um im Rahmen der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie Erfolge und Fehlentwicklungen bei der Sicherung der biologischen Vielfalt zu dokumentieren, wurde im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz ein Artenindex entwickelt, der die Bestandsentwicklung von derzeit 51 ausgewählten Vogelarten repräsentiert [1]. Sie stehen als Indikatorarten für die Qualität ihrer Lebensräume, da sie die Bestandsentwicklungen vieler anderer Arten, die Qualität von Biotopen und die Eignung der Landschaft als Lebensraum anzeigen.

Die Artenauswahl wurde vor dem Hintergrund getroffen, ein möglichst breites Spektrum an Lebensräumen zu erfassen und damit die Entwicklungen in der Gesamtlandschaft zu repräsentieren. So ist der Artenindex aus Teilindikatoren für die wesentlichen Landschafts- und Lebensraumtypen in Deutschland aufgebaut: Agrarlandschaft, Wälder, Siedlungen, Binnengewässer, Küsten und Meere. In Zusammenarbeit mit den Staatlichen Vogelschutzwarten der Länder und dem Dachverband Deutscher Avifaunisten wurden für jeden dieser Hauptlebensraumtypen 10 bis 11 Vogelarten ausgewählt, die für die verschiedenen Ausprägungen und Nutzungen stehen. Ein Teilindikator für die Alpen wird zurzeit ausgearbeitet.

Um den Erfolg eines nachhaltigen Umgangs mit Natur und Landschaft auch messbar zu machen, wurde für den Indikator ein Etappen-Zielwert für das Jahr 2015 festgelegt. Hierzu wurde von einem Expertengremium für jede einzelne Vogelart geschätzt, welche Bestandsgröße im Jahr 2015 realistischerweise zu erwarten ist, wenn die gesetzlichen Vorgaben im Naturschutz und die Leitlinien der nachhaltigen Entwicklung in den verschiedenen Naturnutzungsbereichen konsequent umgesetzt werden (sog. Delphi-Methode). Werden diese Bestandszahlen erreicht, so entspricht dies einer Zielerreichung von 100 %.

Der Nachhaltigkeitsindikator für die Artenvielfalt zeigt, dass der größte Rückgang der Artenvielfalt vor 1990 stattgefunden hat (Abb. VIII 1.4-1). Dieser negative Trend konnte aber bis Anfang der 90er Jahre abgebremst werden. Seitdem ist ein relativ ausgeglichener Verlauf bei etwa 70 % der Zielerreichung zu beobachten. Um den Zielwert im Jahr 2015 zu erreichen, ist u.a. die Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr zu vermindern, der ökologische Landbau auszuweiten und das novellierte Bundesnaturschutzgesetz umzusetzen.

Abb. VIII 1.4-1: *Entwicklung der Bestände für die Hauptlebensraumtypen repräsentativer Vogelarten*



Quelle: *Bundesamt für Naturschutz 2004*

[1] Achtziger, R., Stickroth, H., Zieschank, R.: Nachhaltigkeitsindikator für die Artenvielfalt – ein Indikator für den Zustand von Natur und Landschaft in Deutschland. Angewandte Landschaftsökologie Heft 63, Bonn – Bad Godesberg, 2004. 137 S.

VIII 1.5 Zustand der Wälder

Verschiedene Faktoren beeinflussen die Vitalität der Waldökosysteme. Neben natürlichen Einflussfaktoren (Witterung, Insektenfraß usw.) sind dies vom Menschen verursachte Stoffeinträge in den Wald. Diese Faktoren und der aktuelle Waldzustand beeinflussen sich gegenseitig und können sich in ihrer Wirkung verstärken oder abschwächen. Den atmosphärischen Stoffeinträgen kommt dabei eine Schlüsselrolle zu. Hauptquellen für die Luftschadstoffe sind Industrieanlagen, Kraftwerke, Verkehr, Haushalte, Kleinverbrauch und Intensivtierhaltung.

Für den Waldzustand bedeutende Stoffgruppen der Luftverunreinigungen sind Ammoniak (NH_3), Schwefeldioxid (SO_2) und Stickstoffoxide (NO_x). Die Schadstoffe wirken einzeln oder in komplexem Zusammenspiel unterschiedlich auf die Waldökosysteme. Insbesondere werden Stickstoffüberschüsse im Gesamtsystem, Versauerung und Basenverarmung der Waldböden sowie direkte Schäden durch Ozonwirkungen beobachtet. Auch Veränderungen in der Artenzusammensetzung der Bodenvegetation werden in Fallstudien untersucht.

Der Zustand der Wälder in Europa wird seit Mitte der 1980er Jahre von der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN-ECE) und der Europäischen Union (EU) überwacht. Die räumlichen und zeitlichen Veränderungen des Waldzustandes werden an 6 000 Aufnahmepunkten, die systematisch über ganz Europa verteilt sind, großräumig erfasst und zu natürlichen und anthropogenen Stressfaktoren in Beziehung gesetzt. Diese flächendeckende Überwachung wird als „Level I"-Programm bezeichnet. Die Zusammenhänge zwischen Luftverunreinigung und Waldschäden werden auf 860 Dauerbeobachtungsflächen in den wichtigsten Waldökosystemen in ganz Europa intensiv untersucht. Diese Intensivbeobachtung wird als „Level II"-Programm bezeichnet und ist als Ergänzung zu den Erhebungen auf Level I zu sehen. Mit dieser großen Zahl an Beobachtungsflächen und 39 Teilnehmerstaaten unterhält das Programm eines der weltweit größten Biomonitoringnetzwerke.

VIII 1.5.1 Waldzustand in Deutschland

Flächendeckende Beobachtung (Level I)

Der Kronenzustand der Waldbäume wird seit 1984 jährlich erfasst; er gibt Auskunft über die gesundheitliche Verfassung der Bäume. Die Ergebnisse der bundesweiten Waldzustandserhebung 2004 (16 x 16 km-Netz) zeigen, dass sich der Kronenzustand der Waldbäume im Jahr 2004 erheblich verschlechtert hat.

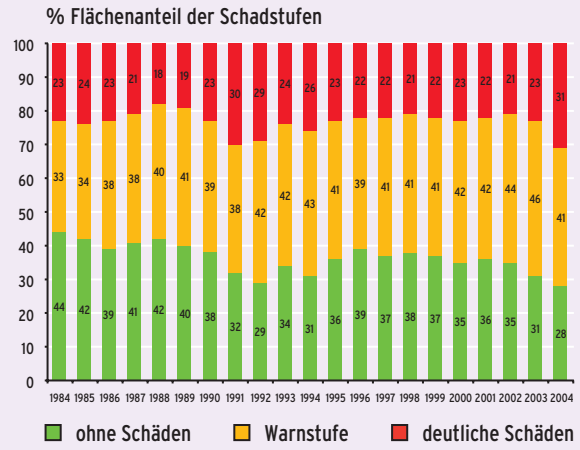
Die Ergebnisse im Einzelnen [1]:

- Der Anteil der Waldflächen mit deutlichen Kronenverlichtungen (Schadstufen 2–4) stieg um acht Prozentpunkte auf 31 % (Abb. VIII 1.5.1-1 und Abb. „Entwicklung der Waldschäden – Fichte, Kiefer, Buche und Eiche"). Dies ist auf Bundesebene die bisher im Vergleich zum jeweiligen Vorjahr größte Zunahme und gleichzeitig auch der höchste Stand seit Beginn der Zeitreihe (1984).
- Der Anteil der Bäume ohne Kronenverlichtung ging um drei Prozentpunkte zurück und hat mit 28 % den auf Bundesebene bisher tiefsten Stand erreicht.
- Der Anteil der Warnstufe (schwache Verlichtung) ging um fünf Prozentpunkte zurück; er liegt nun bei 41 %.
- Diese Situation ist – mit regional unterschiedlich starker Ausprägung – in allen Ländern anzutreffen. Besonders stark haben die Kronenverlichtungen in Süddeutschland (Bayern: +15 Prozentpunkte, Baden-Württemberg: +11 Prozentpunkte) sowie in Schleswig-Holstein (+18 Prozentpunkte) und Berlin (+16 Prozentpunkte) zugenommen.

Die Kronenverlichtungen haben im Bundesdurchschnitt bei allen Baumarten zugenommen, allerdings in unterschiedlichem Ausmaß:

- Bei der Fichte nahm die Fläche mit deutlichen Kronenverlichtungen um acht Prozentpunkte zu und liegt nun bei 35 %. Dies ist der bisher größte im Vergleich zum jeweiligen Vorjahr beobachtete Anstieg und gleichzeitig auch der höchste Stand seit Beginn der Zeitreihe.
- Am geringsten fiel die Zunahme mit vier Prozentpunkten bei der Kiefer aus; sie ist mit nunmehr 17 % deutlicher Kronenverlichtungen auch weiterhin die Hauptbaumart mit der geringsten Kronenverlichtung.
- Die stärkste Zunahme deutlicher Kronenverlichtungen zeigt sich bei der Buche: Der Anteil der Schadstufen 2–4 sprang um 25 Prozentpunkte auf nunmehr 55 % und hat sich damit nahezu verdoppelt. Damit zeichnet sich bei der Buche seit 1984 – trotz mehrerer kurzer Erholungsphasen – der Trend einer Zunahme der Kronenverlichtungen ab. Die Verhältnisse haben sich seit Beginn der Zeitreihe praktisch umgekehrt: 1984 lag der Anteil deutlicher Kronenverlichtungen bei 13 %

Abb. VIII 1.5.1-1: *Entwicklung der Waldschäden in Deutschland (alle Baumarten)*



Quelle: *Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft 2004*

(2004: 55 %) und der Anteil ohne Verlichtungen bei 50 % (2004: 14 %). Zwar hat sich die Buche in den Jahren nach massiven Anstiegen der Kronenverlichtungen stets erholt, allerdings hat sie dabei das ursprüngliche Ausgangsniveau meist nicht wieder erreicht.
- Vergleichsweise moderat fiel mit sechs Prozentpunkten dagegen die Zunahme bei der Eiche aus; allerdings waren bei ihr die deutlichen Kronenverlichtungen bereits im letzten Jahr um zehn Prozentpunkte angestiegen. Der Anteil deutlicher Verlichtungen liegt damit inzwischen bei 45 %.

Diese deutliche Verschlechterung des Kronenzustandes wird auf eine Kombinationswirkung verschiedener Umweltfaktoren zurückgeführt. Die außergewöhnlichen Witterungsbedingungen des Jahres 2003 und die damit verbundenen Spätfolgen dürften daran einen wesentlichen Anteil haben.

Trockenstress und hohe Ozonwerte trafen 2003 auf Waldökosysteme, die infolge lang anhaltender Säure- und Stoffeinträge aus der Luft erheblich vorbelastet sind. Die Auswirkungen wurden in den Ergebnissen der Waldzustandserhebung 2003 allerdings erst z. T. sichtbar; das volle Ausmaß der Belastungen der Wälder zeigte sich im Jahr 2004.

Intensivbeobachtung (Level 2)

Stickstoffeinträge

Zurzeit werden jährlich im Durchschnitt 20 kg Stickstoff pro Hektar in die deutschen Wälder eingetragen [2]. Obwohl sich die Stickstoffemissionen verringert haben, wirkt sich dies bislang nicht nennenswert auf die Höhe des Stickstoffeintrags aus. Als unbedenklich für den Stoffkreislauf von Wäldern gilt derzeit je nach Standort eine jährliche Zufuhr zwischen 5 und 20 kg Stickstoff pro Hektar. Auf über 90 % der untersuchten Monitoringflächen wird diese Verträglichkeitsschwelle (Critical Load) jedoch überschritten, d. h. es wird mehr Stickstoff eingetragen, als die Waldökosysteme auf Dauer vertragen können.

Besonders auf von Natur aus armen und zusätzlich durch menschliche Nutzung degradierten Böden fördert Stickstoff zunächst Vitalität und Wachstum der Wälder. Liegt die Stickstoffzufuhr längerfristig über den Critical Loads, dann werden die Speichermöglichkeiten der Bäume, der Waldböden und der Bodenvegetation zunehmend aufgefüllt, der ursprünglich geschlossene Stickstoffkreislauf gerät zunehmend aus dem Gleichgewicht. Sind im Sickerwasser eines Waldgebietes im Jahr mehr als 5 kg Nitrat pro Hektar enthalten, dann ist dies ein Zeichen dafür, dass das vorhandene Stickstoffangebot den Bedarf im Ökosystem deutlich übertrifft. Sickerwasserproben auf Level II-Flächen haben gezeigt, dass bundesweit bereits auf jeder dritten Untersuchungsfläche überschüssiger Nitratstickstoff ausgewaschen wird.

Um den Stickstoffeintrag in die Wälder unter den kritischen Bereich zu senken, wird es notwendig sein, die im Jahr 2002 verabschiedeten europäischen Zielvorgaben für die Minderung von Stickstoffemissionen, insbesondere für Ammoniak, weiter zu verschärfen. Auch in der Landwirtschaft sind weitere Verbesserungen (z. B. bei der Technik der Gülleausbringung, bei der Tierfütterung und beim Abbau zu großer Tierbestände) erforderlich. Bis die Maßnahmen zur Emissionsminderung greifen, müssen die Wälder an die Belastungssituation mittels forstlicher Maßnahmen angepasst werden. So tragen in stickstoffgesättigten Wäldern z. B. langfristig angelegte Verjüngungsverfahren oder der Umbau von reinen Nadelwäldern in laubbaumreiche Mischwälder dazu bei, das Speichervermögen von Bäumen und Waldböden für Stickstoff zu erhalten oder zu vergrößern.

Gelingt es nicht, den Stickstoffeintrag weiter zu senken, werden eine nachhaltige Entwicklung unserer Wälder und der Erhalt ihrer vielfältigen Funktionen (z. B. die Trinkwassergewinnung im Wald) nicht so wie bisher möglich sein.

Bodenversauerung

Nach der bisher einzigen bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) weisen inzwischen fast alle Wälder eine Versauerung und Basenverarmung in den oberen Bodenbereichen auf und zwar weitgehend unabhängig vom Ausgangssubstrat [2]. Allein die gut gepufferten Standorte auf Karbonatgestein – insgesamt nur knapp 9 % der untersuchten Waldböden – sind weniger betroffen.

Um die langfristige Veränderung der Lösungs- und Transportprozesse in den Waldböden zu erfassen, werden bodenchemische Prozesse und die aktuelle Säurebelastung im Rahmen des Level II-Programms ständig untersucht. Wurde in den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts die Säuredeposition im Wesentlichen vom Schwefel bestimmt, so ist mittlerweile der Stickstoff mit einem Anteil von 65 % zum größten Säurebildner im Wald geworden.

Die Schwefelmengen, die sich in den vergangenen Jahrzehnten in den Waldböden angesammelt haben, sind dort jedoch noch lange Zeit chemisch aktiv. So lassen die hohen Schwefelwerte im Sickerwasser von Waldstandorten erkennen, dass – trotz eines mittlerweile deutlichen Rückganges der Schwefeldioxidemissionen – in den Böden immer noch erhebliche Säuremengen zwischengespeichert sind. Diese

Altlasten an Schwefel können noch Jahrzehnte lang den Bodenchemismus belasten und ins Grundwasser gelangen.

Zusammen mit Schwefel- und Stickstoffverbindungen verlassen häufig auch wichtige Pflanzennährstoffe die Waldböden mit dem Sickerwasser. Auf 60 % der bundesweit untersuchten Level II-Flächen gehen derzeit mehr Kalzium, Magnesium und Kalium verloren, als durch die Deposition ersetzt werden. Gerade Magnesium ist für die Ernährung der Waldbäume besonders wichtig.

Mit zunehmender Bodenversauerung werden auch immer mehr Aluminiumionen im Bodenwasser gelöst. Sie behindern die Nährstoffaufnahme und schädigen Baumwurzeln. Vor allem bei basenarmen, durchlässigen Waldböden können sie die Grundwasserqualität gefährden.

Die Kalkung versauerungsgefährdeter Waldstandorte ist bei fachkundiger Durchführung ein wirksames und relativ umweltverträgliches Mittel zum Bodenschutz. Allerdings ist sie kein Allheilmittel. So schützt sie nicht vor versauerungsbedingtem Kaliummangel und nur bedingt vor den Folgen der überhöhten Stickstoffeinträge. Allein durch eine konsequente Reduzierung der Luftverunreinigungen, vor allem der Stickstoffemissionen, ist es möglich, die Waldökosysteme vor einer weiteren Versauerung zu bewahren.

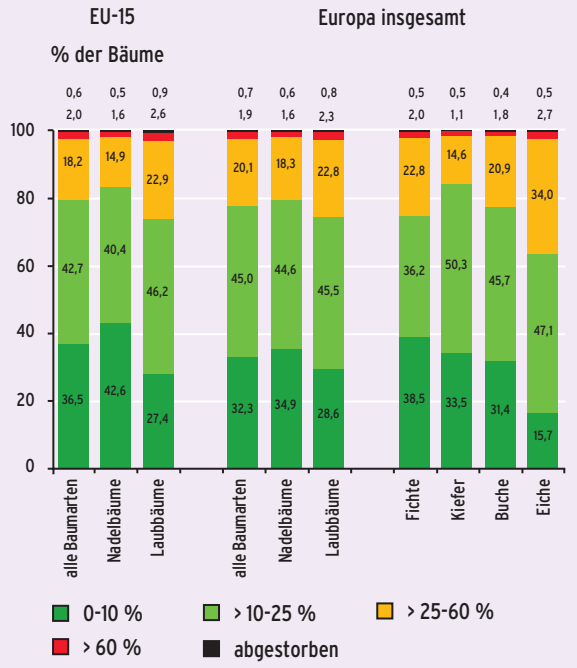
VIII 1.5.2 Waldzustand in Europa

Flächendeckende Beobachtung (Level I) [3]

23 % aller 2003 untersuchten Bäume wurden als mittelstark, stark geschädigt oder abgestorben eingestuft. In den EU-Mitgliedstaaten war der Kronenzustand etwas besser als in Europa insgesamt. Von den vier Baumarten, die auf den Beobachtungsflächen am häufigsten vertreten sind, waren die Buchen sowie die Stiel- und die Traubeneiche am stärksten betroffen (Abb. VIII 1.5.2-1).

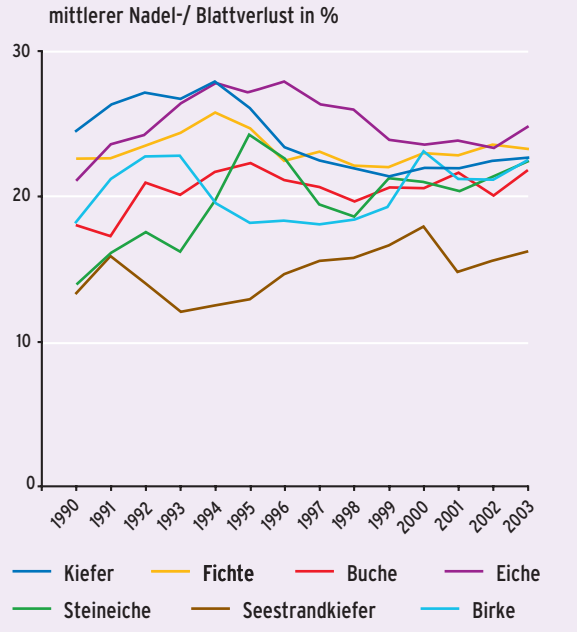
Die zeitliche Entwicklung des Nadel-/Blattverlusts wurde anhand der kontinuierlich beobachteten Bäume untersucht. Von diesen wies die Weißtanne in allen Jahren den höchsten durchschnittlichen Nadelverlust auf. Ansonsten war der mittlere Nadel-/Blattverlust äußerst unterschiedlich (Abb. VIII 1.5.2-2). 1995 war bei allen Arten der höchste Anteil (25,6 %) geschädigter und abgestorbener Bäume (Schadstufen 2–4) zu verzeichnen (nicht grafisch dargestellt). Dieser Anteil ging in den beiden folgenden Jahren zurück. Seitdem ist eine ständige, wenn auch verlangsamte Zunahme der Schäden festzustellen.

Abb. VIII 1.5.2-1: *Prozentsatz an Bäumen in verschiedenen Nadel-/Blattverlustklassen (Hauptbaumarten 2003)*



Quelle: *Vereinte Nationen, Wirtschaftskommission für Europa 2004*

Abb. VIII 1.5.2-2: *Entwicklung des mittleren Nadel-/Blattverlusts der Hauptbaumarten Europas*[1)]



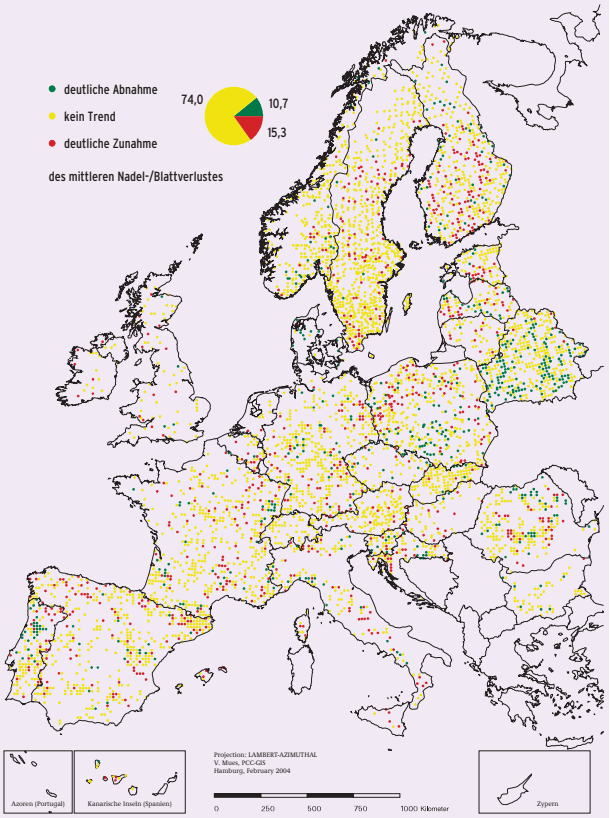
[1)] berechnet anhand kontinuierlich erhobener Bäume

Quelle: *Vereinte Nationen, Wirtschaftskommission für Europa 2004*

Die Entwicklung des Nadel-/Blattverlustes aller Baumarten auf den Einzelflächen (Abb. VIII 1.5.2-3) zeigt, dass der Anteil an Flächen mit einer signifikanten Zunahme von 1994 bis 2003 höher (15,3 %) als der Anteil der Flächen war, auf denen ein Rück-

gang des mittleren Nadel-/Blattverlustes zu verzeichnen war (10,7 %). Flächen, auf denen eine Verschlechterung des Kronenzustands zu beobachten war, liegen entlang der Nord- und Westküste der iberischen Halbinsel sowie in Südfinnland und im Baltikum, in den Alpengebieten Österreichs sowie in Slowenien und Kroatien. Die Flächen, auf denen eine Zustandsverbesserung festzustellen ist, befinden sich in Südpolen und Weißrussland.

Abb. VIII 1.5.2-3: *Entwicklung des Nadel- und Blattverlustes für alle Baumarten zwischen 1994 und 2003 in %*



Quelle: *Vereinte Nationen, Wirtschaftskommission für Europa 2004*

Die Waldschäden sind im Wesentlichen auf ungünstige Witterungsbedingungen, biotische Faktoren und Luftverunreinigungen zurückzuführen.

Intensivbeobachtung (Level II) [4]

Die Verringerung der Schwefeldeposition in den letzten Jahrzehnten hat einen Rückgang der Schwefelkonzentrationen in Nadeln von Kiefern und Fichten zur Folge. Szenarioanalysen, die von Emissionsverringerungen entsprechend den internationalen Übereinkommen ausgehen, prognostizieren einen Rückgang der Schwefel- und Stickstoffkonzentrationen in der Bodenlösung. Dagegen wird es sehr viel länger dauern, bis eine Erholung der Bodenfestphase eintreten wird. Dies bedeutet, dass die Waldökosysteme noch lange unter hohen Luftschadstoffeinträgen leiden werden.

Erste Auswirkungen der auf den Waldflächen durchgeführten Ozonmessungen belegen hohe Ozonkonzentrationen in Südeuropa. Die Nadeln und Blätter einiger Hauptbaumarten – beispielsweise der Buche – wiesen sichtbare Ozonschäden auf. Aber auch einige Arten der Bodenvegetation, deren Ozonempfindlichkeit bisher nicht bekannt war, zeigten Schäden.

Der frühzeitige Austrieb und eine verlängerte Vegetationsperiode von Fichten werden mit den veränderten klimatischen Bedingungen in Verbindung gebracht. Die jährliche Nettokohlenstoffbindung im Holz der Bäume ist europaweit 5- bis 7-mal höher als die der Waldböden. Die Hochrechnung der Werte auf die gesamte Waldfläche Europas – bereinigt um die Entnahme von Kohlenstoff durch Holzernte und Waldbrände – ergibt eine durchschnittliche Kohlenstoffaufnahme der Wälder von 0,1 Gt pro Jahr. Rund 5 % der jährlichen Nettokohlenstoffbindung sind auf Stickstoffeinträge zurückzuführen, die das Waldwachstum anregen.

[1] Bericht über den Zustand des Waldes 2004 – Ergebnisse des forstlichen Umweltmonitorings; BMVEL
[2] Forstliches Umweltmonitoring für den Wald der Zukunft; BMVEL, Februar 2003
[3] Vereinte Nationen, Wirtschaftskommission für Europa (UNECE), Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH), The Condition of Forests in Europe. 2004 Executive Report, Geneva 2004 (http://www.icp-forests.org/pdf/ER2004.pdf)
[4] Der Waldzustand in Europa; Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft; BFH, UNECE und Europäische Kommission, Genf und Brüssel, 2003

VIII 1.6 Lebensraum Alpen und biologische Vielfalt

Lebensräume und Kulturlandschaften

Der Alpenraum stellt durch die Bereitstellung von Trinkwasser, hochwertigen land- und forstwirtschaftlichen Erzeugnissen, als bedeutende Destination für den Winter- und Sommertourismus und nicht zuletzt als Siedlungsraum eine wichtige Ressource für den Menschen dar. Eng damit verbunden ist die Bedeutung des Alpenraums als „hot spot“ für die biologische Vielfalt („Biodiversität“), von der Vielfalt der Landschaften, Lebensräume, der Tier-, Pflanzen- und Mikroorganismenarten sowie der Vielfalt auf der genetischen Ebene bis hin zu den menschlichen Nutzungsformen.

Der Schutz dieser biologischen Vielfalt und die nachhaltige Entwicklung des Alpenraums erfordern angesichts der Komplexität der Einflussfaktoren umfassende Schutz- und Entwicklungskonzepte. Mit nationalen und internationalen Regelwerken wird weltweit versucht, die biologische Vielfalt zu erhalten. Für den Alpenraum spielen dabei die Alpenkon-

vention und das Übereinkommen über die biologische Vielfalt eine Schlüsselrolle.

Die in den Alpen kleinräumig wechselnden Standortverhältnisse von Relief, Boden und Klima bedingen ein Mosaik hoch diverser Lebensräume und Lebensraumausstattungen, beginnend mit den montanen und subalpinen Waldgesellschaften der tiefen Lagen bis hinauf zu den natürlichen Urwiesen und Gesteinsfluren oberhalb der alpinen Waldgrenze und den nivalen Gesteinsfluren. Zudem haben sich boden- und klimabedingt besondere Lebensgemeinschaften wie Schuttfluren, Moore und Schluchtwälder gebildet.

Die traditionellen Nutzungen, insbesondere die der Land- und Forstwirtschaft, haben über Jahrhunderte hinweg auf diese Standortverhältnisse reagiert und spezifische Nutzungsformen der Kulturlandschaft herausgebildet, die zur Entwicklung weiterer Ökosystemtypen mit charakteristischer Artenausstattung und damit zu einer Erhöhung der Vielfalt geführt haben. Zu diesen gehören die forstliche Mittel- und Niederwaldbewirtschaftung, die Entwicklung lichter Waldtypen durch Waldweide sowie die Almen und Bergmähder mit unterschiedlicher Intensität der Bewirtschaftung unterhalb und oberhalb der alpinen Waldgrenze. Besonders die ursprünglich mit lokal und regional unterschiedlichen Baumarten dicht bewaldete montane Stufe erhielt durch die Anlage von Almen einen (halb-)offenen Landschaftscharakter und wurde in ihrer strukturellen Ausstattung als auch in ihrem Artengefüge deutlich vielfältiger.

Die Kulturlandschaften dokumentieren als Ergebnis der unterschiedlichen Wirtschaftsweisen die regionale Kulturvielfalt des Alpenbogens und werden heute wie Bau- und Siedlungsformen als „kulturelles Erbe“ verstanden. Gerade die Kulturlandschaften und ihr Kontrast zu den verbliebenen Naturlandschaften der Alpen begründen nach den heutigen ästhetischen Vorstellungen die Attraktivität der Alpen. Diese ist eine wesentliche Grundlage für die ausgeprägte Naherholung, den Tourismus und die wirtschaftliche Standortattraktivität in den Alpen und somit auch ein wichtiger wirtschaftlicher Faktor.

Gefährdung durch Nutzungsänderungen

Heute vollziehen sich Nutzungsänderungen und die damit verbundenen Landschaftsveränderungen in den Alpen im Wesentlichen in zwei Richtungen. Zum einen werden Landnutzungen zur Erzielung höherer wirtschaftlicher Erträge intensiviert, zum anderen vollzieht sich eine Nutzungsextensivierung bis hin zur Nutzungsauflassung.

Nutzungsintensivierung einerseits und Nutzungsaufgabe andererseits führen zum Verlust dieser kulturell bedingten Vielfalt und gehören damit zu den Hauptverursachern von Biodiversitätsverlusten. In besonderem Maße von der Nutzungsaufgabe betroffen sind die vielfach sehr artenreichen alpinen Offenlandbiotope. Die Offenhaltung der Landschaft ist dabei nicht allein aus naturschutzfachlicher, sondern gleichwohl auch aus agrarpolitischer und touristischer Sicht von Bedeutung. Eine weitere Bedrohung der Biodiversität erwächst aus der zunehmenden Zersiedelung in den Talräumen der Alpen. Der Verlust und die Zerschneidung von Lebensräumen haben vielfältige negative Auswirkungen auf die Erhaltung von Arten und Biotopen.

Unter den Nutzungsintensivierungen sind an erster Stelle die landwirtschaftlichen Maßnahmen zu nennen, weil diese flächenhaft am bedeutendsten sind. Intensivierungen der Landwirtschaft im Alpenraum entstehen im Wesentlichen durch die Veränderung der Grünlandnutzung (z. B. Erhöhung der Viehdichte, Nutzungsumwandlung) sowie durch die Ausdehnung von Gemüse-, Obst- und Weinbau. Dadurch gehen prägende Landschaftselemente wie Feucht- und Streuwiesen, Bergmähder und Kleinstrukturen verloren und das Landschaftsbild wird monotoner.

Die Nutzungsüberlagerungen vor allem von landwirtschaftlichen Flächen und Wäldern durch flächenhafte touristische Nutzungen (z. B. Skipisten, Aufstiegshilfen, Parkplätze, Gastronomie und Beherbergung), durch Siedlungserweiterungen, Anlage von Verkehrsflächen, Bau von Energieleitungen, aber auch von großflächigen Windkraftanlagen bewirken häufig eine ästhetische Beeinträchtigung der Landschaft bis hin zum Verlust des Kultur- oder Naturlandschaftscharaktes.

Nutzungsextensivierungen in den Bereichen der Land- und Forstwirtschaft haben zur Konsequenz, dass sich in der ehemaligen Kulturlandschaft mit verschiedenen Zwischenstadien eine natürliche Sukzession vollzieht. Unterhalb der natürlichen Baumgrenze verwandeln sich dadurch offene und halboffene Landschaften (wie Streuwiesen, Magerrasen, Bergmähder) standortabhängig wieder in geschlossene Waldlandschaften, die der potenziellen natürlichen Vegetation entsprechen.

Angesichts dieser ausgeprägten und anhaltenden Landschaftsveränderungen stellt die Erhaltung der Kultur- und Naturlandschaften eine agrarpolitisch, naturschutzfachlich und touristisch wichtige Aufgabe dar.

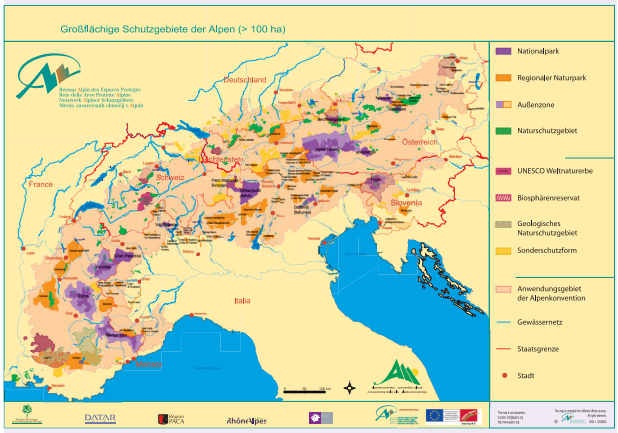
Eine Gegenentwicklung zu diesen Landschaftsveränderungen ist die Erhaltung von Kultur- und Natur-

landschaften durch Kultur- und Landschaftsprogramme, Landschaftspflege und die Entwicklung regionaler Wirtschaftssysteme, welche die langfristige Sicherung dieser Landschaften zum Ziel haben.

Schutzgebiete

Eine herausragende Rolle haben auch die etwa 300 großräumigen alpinen Schutzgebiete, die traditionelle Instrumente der Naturschutzpolitik der Alpenstaaten sind. Die großflächigen, naturnahen und relativ dünn besiedelten Gebirgsgruppen der Alpen erlauben teilweise eine konfliktarme Ausweisung von Schutzgebieten zur Erhaltung von Natur und Landschaft. Im Alpenraum war im Jahr 2003 eine Fläche von ca. 33 000 km^2 (ca. 18 % der Gesamtfläche) als Schutzgebiete verschiedener Kategorien erfasst. Die ausgewiesenen Schutzgebiete liegen häufig in den oberen Höhenstufen und können das Spektrum der Lebensräume in den Alpen derzeit nur unvollständig repräsentieren. Die nationalen Schutzgebietskategorien sind untereinander nicht abgestimmt und teilweise, wie in Österreich oder der Schweiz, auch innerhalb eines Alpenstaates aufgrund landesgesetzlicher Regelungen mit unterschiedlichen Inhalten verbunden (Abb. VIII 1.6-1).

Abb. VIII 1.6-1: *Schutzgebiete in den Alpen und Geltungsbereich der Alpenkonvention*



Quelle: *Netzwerk alpiner Schutzgebiete 2005*

Gefährdete wild lebende Tier- und Pflanzenarten des Alpenraums

Die hohe Zahl der im Alpenraum vorkommenden Tier- und Pflanzenarten spiegelt sowohl die standörtliche Vielfältigkeit als auch die Durchmischung von Artenvorkommen aus verschiedenen ökologischen Entwicklungszeiträumen wider. So sind Arten der Eiszeiten in den alpinen und nivalen Regionen verblieben, während in den Tallagen häufig Arten der submontanen oder sogar mediterranen Gebiete vorkommen können, die nach den Eiszeiten aus wärmeren Gebieten eingewandert sind. Durch menschliche Nutzung wurden weitere Wild- und Kulturarten in den Alpenraum eingeführt. Wegen dieses hohen Artenreichtums werden die Alpen in der Studie Global 2000 zu den bedeutendsten Ökoregionen der Erde gezählt und wurden vom IUCN als eine der weltweit 234 Regionen mit der größten Pflanzenvielfalt ausgewählt.

Der Alpenraum beherbergt ca. 30 000 Tier- und 13 000 Pflanzenarten, das sind etwa 39 % der europäischen Gefäßpflanzenflora. Viele der heimischen Arten haben sich den Bedingungen dieses Lebensraums besonders angepasst. So wird geschätzt, dass etwa 15 % der über der Waldgrenze wachsenden 2 500 Pflanzenarten endemisch sind, also ausschließlich an diesen Standorten vorkommen.

Die extremen Lebensbedingungen oder die enge Abhängigkeit von bestimmten, heute rückläufigen Bewirtschaftungsformen bedingen eine hohe Sensibilität der Arten gegenüber Veränderungen dieser Bedingungen. Einige wesentliche Gründe für den Artenrückgang von Wildpflanzen in den letzten Jahrzehnten sind neben der unmittelbaren Zerstörung der Lebensräume die Nutzungsaufgabe und das Brachfallen ebenso wie die Nutzungsintensivierung, verbunden mit Nähr- und Schadstoffeinträgen und einem Unterbinden der natürlichen Dynamik. Die Verkleinerung oder Zerstörung von Teillebensräumen von Tierarten (z. B. Nahrungs-, Fortpflanzungshabitate, Überwinterungsquartiere) und die Einschränkungen des Austausches zwischen verschiedenen Populationen durch die Barriere- und Isolationswirkungen menschlicher Nutzungen sind wesentliche Auslöser für den Rückgang von wild lebenden Tierpopulationen.

Gezielte Artenschutzbemühungen wie Wiedereinbürgerungs- und Monitoringprojekte (u. a. Bartgeier in der Schweiz, Bären in Österreich, Steinadler in Deutschland) sowie die Einrichtung und das Management der Schutzgebiete in den Alpen haben die Bestandssituation für einige Arten stabilisieren können.

Gefährdete Nutztierarten des Alpenraums

Im Alpenraum werden Nutztiere seit Jahrtausenden vom Menschen gehalten. Durch Auslese der Nachzucht wurden sie in praktisch jedem Tal optimal an die lokalen Gegebenheiten angepasst, der Austausch von Tieren fand trotz vielfältiger Kontakte der Bewohner nur selten statt.

Angesichts der beschränkten Mittel, der bescheidenen Kenntnisse der Tiermedizin, der harten klimatischen Bedingungen und des kargen Futters waren in erster Linie robuste Tiere wichtig. Um auf uner-

wartete Ereignisse reagieren zu können, war die Vielfalt der Nutztiere für das Überleben der Menschen von Bedeutung. Eine stabile Durchschnittsleistung galt und gilt noch heute in den Bergen mehr als eine gegen Außeneinflüsse störungsanfällige Höchstleistung.

Obwohl die alten Formen nach heutigen Maßstäben unbefriedigende Erträge bringen, besitzen sie Qualitäten wie hohe Fruchtbarkeit, Robustheit gegen Kälte und Resistenzen gegen Krankheiten, die in einem anderen wirtschaftlichen Umfeld wieder von Interesse sein können.

Die traditionellen Rassen wurden in generationenlanger Zuchtarbeit weiterentwickelt und an die Bedürfnisse des Menschen angepasst. Sie sind nicht nur genetisch interessant, sondern stellen auch ein wertvolles und erhaltenswertes Kulturgut dar.

In den einzelnen Alpenstaaten ist der Erhaltungszustand traditioneller, gefährdeter Rassen grundsätzlich sehr unterschiedlich. Immer wieder werden Rassen entdeckt, die nicht mehr bekannt sind oder bereits als ausgestorben gelten. Heute sind in den Alpen mehr als hundert Nutztierrassen in ihrem Bestand gefährdet und in ihrer Erhaltung auf möglichst rasch ergriffene Maßnahmen angewiesen.

In der 2003 vom Monitoring Institute for Rare Breeds and Seeds in Europe veröffentlichten Alpenstudie konnten erste Trends zur Bestandsentwicklung gefährdeter Nutztierrassen identifiziert werden.

Allgemeingültige Trends können auf der aktuellen Datenbasis nicht ermittelt werden. Ein gesicherter Gesamtüberblick über alle im Alpenraum vorkommenden Rassen ist derzeit nicht möglich, da es noch keine kontinuierliche Überwachung gibt (Tab. VIII 1.6-1 bis VIII 1.6-3).

Den Gefährdungskategorien liegt der FAO-Schlüssel zugrunde:

extinct: ausgestorben
critical: < 100 weibliche Tiere in Reproduktion
endangered: 100–1 000 weibliche Tiere in Reproduktion
vulnerable: 1 000–5 000 weibliche Tiere in Reproduktion
rare: 5 000–10 000 weibliche Tiere in Reproduktion

Tab. VIII 1.6-1: *Gefährdungsgrad erfasster Rinderrassen*

Gefährdungskategorie	extinct	critical						endangered				vulnerable			rare	
Frankreich								↑	↑							
Italien	7	↓						→	↑			→	→	↑		
Schweiz	10	↑										↑	↑		↓	↓
Bayern		↑						→	↑	↓						
Österreich	11	?	?	?	?	?	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↓			
Slowenien	3							?								

Tab. VIII 1.6-2: *Gefährdungsgrad erfasster Ziegenrassen*

Gefährdungskategorie	extinct	critical				endangered					vulnerable						rare	
Frankreich		?	↑								↑							
Italien	1	?	?	?		→	↑				?	→	→	→	↑	↑	?	
Schweiz	10	?				↑	↑	↑	↑	↑	→	↑					↑	↑
Österreich		?	?	?	?	→	↑											
Slowenien						?												

Tab. VIII 1.6-3: *Gefährdungsgrad erfasster Schafrassen*

Gefährdungs-kategorie	extinct	critical								endangered										vulnerable					rare
Frankreich		?								↓										↑	↑				↑
Italien	9	?	?	?	↓	↓	→	→	↓	↓	↓	↓	↓	→	→	↑	↑	↑	↑	↓	↓	→	→	→	
Schweiz	10	?								↑	↑	↑	↑							↑					
Bayern		↑	↑							↑	↑									↑					
Österreich	6	?	?	?	↑					?	→	↑	↑	↑						?					
Slowenien										?	?	↑								↑					

Ein Kästchen repräsentiert eine erfasste Rasse oder Varietät.
↑ Tendenz Bestand anwachsend
↓ Tendenz Bestand schrumpfend
→ keine Bestandsveränderung
? Bestandsentwicklung ungeklärt
extinct: ausgestorbene Rassen, Populationen oder Varietäten

Quelle: *Monitoring Institute for Rare Breeds and Seeds in Europe 2003*

Die Sicherung der gefährdeten Rassen hängt von der Existenz staatlicher und insbesondere nichtstaatlicher Erhaltungsinitiativen ab. Denn staatliche Initiativen wie Halterprämien oder Erhaltungsprogramme sind i.d.R. stark von politischen Entscheidungen und der Verfügbarkeit von Haushaltsmitteln abhängig. Private Initiativen leben von der hohen Motivation von Tierhaltern und Züchtern.

Im Jahr 2003 konnte erstmals eine Schafrasse aus dem Monitoring gefährdeter Nutztierrassen in den Alpen entlassen werden: Das „braune Bergschaf", das unter fünf verschiedenen Namen in vier Ländern des Alpenraumes vorkommt, hat den Gefährdungsstatus überwunden. In Deutschland (braunes Bergschaf) und der Schweiz (Engadiner Schaf) haben die Populationen die Tausendergrenze schon länger überschritten. In Österreich (Paterschaf, braunes Bergschaf) und Italien (Ultenschaf) gehen die Bestände auf diese Grenze zu. Gemäß FAO-Kriterien gelten die Bestände zwar noch als verletzlich und bedürfen weiterhin der staatlichen Förderung, das Aussterberisiko ist jedoch sehr klein geworden. Die Züchter arbeiten grenzüberschreitend zusammen, die Zukunft des „braunen Bergschafs" scheint gesichert. Weitere Maßnahmen zur Erhaltung der Ökosysteme und der biologischen Vielfalt siehe Kap. VIII 3.

VIII 2 Anthropogene Belastungen

VIII 2.1 Flächeninanspruchnahme und Fragmentierung

Flächeninanspruchnahme

Die Siedlungs- und Verkehrsfläche (SuV) in Deutschland beträgt im Jahr 2003 4,44 Mio. ha; der Anteil der Verkehrsfläche beträgt rund 39 %. In der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie für Deutschland 2002 hat sich die Bundesregierung ein Langfristziel zur Begrenzung neuer Siedlungs- und Verkehrsflächen (SuV) gesetzt. Der bundesweite Zuwachs an neuer Siedlungs- und Verkehrsfläche soll von 129 ha pro Tag (mittlerer Wert für den Zeitraum 1997 bis 2000) auf 30 ha pro Tag bis zum Jahr 2020 gesenkt werden. Der Nachhaltigkeitsrat fordert darüber hinaus, bis 2050 die neue Inanspruchnahme – vor allem durch Flächenrecycling – auf Null zu reduzieren.

Die zusätzliche Flächeninanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrszwecke sank nach Berechnungen des Statistischen Bundesamtes bundesweit von 131 ha/Tag (1998–2000) im Jahr 2001 auf 117 ha/Tag, im Jahr 2002 auf 105 ha/Tag und im Jahr 2003 auf 93 ha pro Tag [1] (siehe auch Kapitel VII). Die Abnahme spiegelt sich in fast allen Bundesländern wider. Vor allem die Gebäude- und Freiflächenzunahme, zu mehr als der Hälfte am SuV-Zuwachs beteiligt, ist deutlich rückläufig.

Von einer wirklichen Trendwende ist allerdings nicht auszugehen. Die Rückgänge sind im Wesentlichen durch den konjunkturbedingten Einbruch der Bauinvestitionen verursacht [1]. Zieht die Konjunktur wieder an, ist zu erwarten, dass auch die Flächenneuinanspruchnahme wieder steigt. Wichtig ist deshalb die konsequente Weiterentwicklung von planerischen, rechtlichen und ökonomischen Instrumenten und ihre Umsetzung in der Praxis, um eine wirkliche stabile Trendwende bei der Reduzierung der Neuinanspruchnahme von Siedlungs- und Verkehrsflächen zu erreichen. Dazu gehört auch die Nutzung der vielerorts vorhandenen Brachflächenpotenziale. Daneben ist die Entwicklung eines stärkeren Problembewusstseins in der Gesellschaft notwendig.

Die Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen ging vorwiegend zulasten der Landwirtschaftsfläche [1]. Der Zuwachs der Siedlungs- und Verkehrsfläche betrug bis Anfang 2004 sogar 12 %. Rund 80 % des Wachstums der Siedlungs- und Verkehrsfläche entfällt auf die Siedlungsnutzung. Knapp die Hälfte des Wachstums der Verkehrsflächen ist nach Berechnungen des Umweltbundesamtes [2] auf den Bau von Erschließungsstraßen für neue Siedlungsgebiete zurückzuführen, so dass das Wachstum der Siedlungen direkt oder indirekt rund 90 % der gesamten Flächeninanspruchnahme verursacht.

Die zunehmende Flächenbeanspruchung geht zwangsläufig mit einem Verlust an land- und forstwirtschaftlich hochwertigen Böden, einer fortschreitenden Bodenversiegelung und einem Verlust an Freiräumen einher. Neue Siedlungen außerhalb der Ballungsgebiete erzeugen zusätzliche Verkehrsströme mit Lärmbelästigung und Schadstoffemissionen. Die Erschließungsstraßen setzen die Flächenzerschneidung und Fragmentierung fort. All diese Effekte verringern die Erholungsfunktion der Landschaft und gefährden stark den Lebensraum der Pflanzen- und Tierwelt.

Zudem schmälert der Ausbau von Bau- und Gewerbegebieten die Nutzungspotenziale für eine nachhaltige Landwirtschaft, deren umweltverträgliche Bewirtschaftung oft auf einen höheren Flächenbedarf angewiesen ist.

Im Rahmen der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung soll ein Maßnahmenprogramm erarbeitet werden, das in seiner Gesamtheit zu einer Reduzierung und qualitativen Aufwertung der Flächeninanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrszwecke unter Berücksichtigung der umweltgerech-

ten, sozialen und wirtschaftlichen Zielsetzungen führt. Unter anderem ist die Innenentwicklung städtischer Bereiche vor der Außenentwicklung des Umlandes zu stärken, die Qualität der Flächennutzung im Wohnumfeld und der Schutz unzerschnittener Freiräume und unbeeinträchtigter Landschaftsbilder zu verbessern. Das 2004 durch das Europarechtsanpassungsgesetz geänderte Baugesetzbuch sieht neben einer gestärkten Bodenschutzklausel mit einem Vorrang der Innenentwicklung vor der Außenentwicklung auch Maßnahmen zum Stadtumbau vor, besonders zum Rückbau von baulichen Anlagen, die bei schrumpfender Bevölkerung dauerhaft nicht mehr genutzt werden.

Mit einer Reihe von Instrumenten und Maßnahmen kann der Flächenverbrauch gesteuert werden.

So sollten die eine Zunahme der Flächeninanspruchnahme begünstigenden Förderinstrumente und steuerlichen Vergünstigungen wie die Eigenheimförderung abgeschafft und die Entfernungspauschale weiter zurückgenommen werden.

Zu den rechtlichen und planerischen Instrumenten zählen das Raumordnungsgesetz und das Baugesetzbuch, die beide am 20.07.2004 durch das Europarechtsanpassungsgesetz novelliert wurden [3]. Beide Rechtsgrundlagen verankern das Ziel, die Siedlungstätigkeit räumlich zu konzentrieren, Freiräume zu sichern sowie Natur und Landschaft zu schützen. Geprüft werden sollte auch, inwieweit auf der Ebene der Raumordnung verbindliche quantitative Zielvorgaben erforderlich sowie rechtlich und praktisch möglich sind, um das Siedlungswachstum künftig weiter einzudämmen.

Nach dem neuen Stadtplanungsrecht (§ 171 a BauGB) können Stadtumbaumaßnahmen durchgeführt werden, durch die in von erheblichen städtebaulichen Funktionsverlusten betroffenen Gebieten Anpassungen zur Herstellung nachhaltiger städtebaulicher Strukturen vorgenommen werden. Erhebliche städtebauliche Funktionsverluste liegen insbesondere vor, wenn ein dauerhaftes Überangebot an baulichen Anlagen für bestimmte Nutzungen, namentlich für Wohnzwecke, besteht oder zu erwarten ist. Stadtumbaumaßnahmen sollen vor allem dazu beitragen, dass

- die Siedlungsstruktur den Erfordernissen der Entwicklung von Bevölkerung und Wirtschaft angepasst wird,
- die Wohn- und Arbeitsverhältnisse sowie die Umwelt verbessert werden,
- innerstädtische Bereiche gestärkt werden,
- nicht mehr bedarfsgerechte bauliche Anlagen einer neuen Nutzung zugeführt werden,
- einer anderen Nutzung nicht zuführbare bauliche Anlagen zurückgebaut werden,
- Brachen und Altstandorte einer nachhaltigen städtebaulichen Entwicklung oder einer hiermit verträglichen Zwischennutzung zugeführt werden,
- innerstädtische Altbaubestände erhalten werden.

Nach dem Entwurf eines Gesetzes zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes soll den Flüssen mehr Raum gegeben und die Versiegelung von Flächen in Überschwemmungsgebieten, insbesondere in Form von Bauvorhaben, grundsätzlich ausgeschlossen werden. Das 1998 verabschiedete Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) [4] dient in Verbindung mit der 1999 verabschiedeten Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung der langfristigen Schonung der Böden. Schwerpunkte einer zukünftigen nachhaltigen Konzeption im Bereich Bodenschutz sind die Abwehr schädlicher Bodenveränderungen, die Sanierung von Altlasten zur Schaffung neuer Freiräume und die Bodenentsiegelung. Im Rahmen eines Forschungsprojektes wurde aufgrund der Ermächtigung des § 5 BBodSchG die Realisierbarkeit einer Entsiegelungs-Verordnung geprüft.

Die 2002 in Kraft getretene Novellierung des Bundesnaturschutzgesetzes [5] enthält Neuregelungen, die auch für die Steuerung der Flächennutzung von Bedeutung sind. Zu diesen gehört der sparsame und schonende Umgang mit den Naturgütern, zum Schutz von Freiräumen die Verpflichtung der Länder zur Schaffung eines Biotopverbunds, der mindestens 10 % der Landesfläche umfassen soll sowie die Pflicht zur flächendeckenden Aufstellung von Landschaftsplänen. Innerhalb von 3 Jahren sollen die Neuregelungen von den Ländern umgesetzt werden.

Fragmentierung des Naturraumes

Bei der Flächeninanspruchnahme in Deutschland werden nicht nur Freiflächen in versiegelte Siedlungs- und Verkehrsfläche umgewidmet, sondern auch weite Gebiete durch Verkehrswege zerschnitten. Während die Länge des Schienennetzes von 1991 bis 2001 um 3 000 km abnahm, nahm in demselben Zeitraum die Länge der überörtlichen Straßen um 4 500 km zu [6]. So geht mit fortschreitender Fragmentierung und Verinselung Lebensraum verloren. Besonders Tierarten mit großem Raumbedarf wie Greifvögel und Rotwild sind auf unzerschnittene verkehrsarme Räume angewiesen, die möglichst frei von Zerschneidung durch Siedlungs- und Infrastrukturen sein müssen. Der Erhalt der unzerschnittenen verkehrsarmen Räume ist also mit dem Bestand der Artenvielfalt in Deutschland eng verknüpft.

Auch für das Naturerleben des Menschen ist es wichtig, Räume zu erhalten, die großflächig unzer-

schnitten und nicht verlärmt sind. Deshalb sollte innerhalb oder in der Nähe von intakten unzerschnittenen verkehrsarmen Räumen mit entsprechender Naturraumausstattung auf Infrastruktur-, Siedlungs- und Gewerbevorhaben sowie auf Großprojekte für eine touristische Infrastruktur verzichtet werden.

Ein vom Bundesamt für Naturschutz entwickelter Indikator definiert unzerschnittene verkehrsarme Räume (UZVR) als Räume, die

- eine Mindestgröße von 100 km^2 haben,
- von keiner Straße mit einer durchschnittlichen Verkehrsmenge von mehr als 1 000 Kfz/24 h durchschnitten werden,
- von keiner Bahnstrecke (ein- oder mehrgleisig) durchschnitten werden und kein Gewässer enthalten, das mehr als die Hälfte des Raumes beansprucht.

Die UZVR bilden eine wichtige Bewertungsgrundlage für die Beurteilung der naturräumlichen Situation in Deutschland sowie auch für die Verkehrswegeplanungen des Bundes und der Länder. Die Erfassung der unzerschnittenen Räume ist auch eine Grundlage für die Umsetzung der Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen [7]. Die Richtlinie verpflichtet die Mitgliedstaaten, ein kohärentes europäisches ökologisches Netz besonderer Schutzgebiete mit der Bezeichnung „Natura 2000“ aufzubauen. Dieses Netz soll den Fortbestand oder gegebenenfalls die Wiederherstellung eines günstigen Erhaltungszustandes der natürlichen Lebensraumtypen und Habitate der Arten in ihrem natürlichen Verbreitungsgebiet gewährleisten (Kap. VIII 3.4.2).

2003 sind 21 % der Gesamtfläche Deutschlands von unzerschnittenen verkehrsarmen Räumen mit einer Mindestgröße von 100 km^2 bedeckt, die vor allem in den bevölkerungsarmen Gebieten der neuen Länder und im Bergland liegen (Tab. VIII 2.1-1). Vor allem in den neuen Ländern sind unzerschnittene Räume durch Erschließungsmaßnahmen bedroht. Die vorliegenden Daten zeigen, dass der Trend besonders im Osten Deutschlands gravierende Auswirkungen hat (Brandenburg, Sachsen und Thüringen), wo der Anteil der unzerschnittenen verkehrsarmen Räume seit 1994 besonders stark abgenommen hat. Im Osten der Bundesrepublik Deutschland liegt der prozentuale Flächenanteil der UZVR an der Landesfläche mit 13 % in Sachsen und bis 53 % in Mecklenburg-Vorpommern deutlich über dem in den westlichen Flächenländern mit 3 % in Nordrhein-Westfalen und 21 % in Niedersachsen.

Für die Naherholung und den Artenschutz in Verdichtungsräumen und im näheren Umfeld von Ballungsräumen sind auch kleinere unzerschnittene Räume unter 100 km^2 bedeutend. Neben den großen unzerschnittenen Räumen über 100 km^2 soll nach einem Vorschlag des Umweltbundesamtes [8] daher auch die Anzahl der jeweils noch vorhandenen unzerschnittenen Flächen über 140, 120, 100, 80 und 64 km^2 künftig erhalten bleiben. Vor allem die unzerschnittenen Flächen über 100 km^2 sollten in ihrem Kern als Tabu-Zonen behandelt werden.

Der bundesweite Durchschnittswert für die UZV sagt allerdings nichts darüber aus, inwieweit im Ein-

Tab. VIII 2.1-1: *Verteilung der Unzerschnittenen Verkehrsarmen Räume (UZVR) in Deutschland*

Bundesland[1)]	Einwohner/km^2 [2)]	UZVR[3)] (in km^2)	UZVR (in % der Landesfläche)		Anzahl der UZVR[4)]	
			1998	2003	1998	2003
Baden-Württemberg	299	3 328	11	9	25	22
Bayern	176	10 775	20	15	76	61
Brandenburg	87	14 625	53	50	80	75
Hessen	288	2 289	12	11	16	14
Mecklenburg-Vorpommern	75	12 256	54	53	67	63
Niedersachsen	168	10 223	19	21	58	59
Nordrhein-Westfalen	530	868	3	3	6	4
Rheinland-Pfalz	204	3 062	16	15	22	19
Sachsen	235	2 325	24	13	28	14
Sachsen-Anhalt	123	6 378	29	32	34	33
Schleswig-Holstein	179	1 780	10	11	12	12
Thüringen	147	5 476	41	34	36	33
Deutschland	**231**	**73 541**	**22**	**21**	**480**	**422**

1) Saarland und die Stadtstaaten sind aufgrund ihrer geringen Flächengröße nicht in der Tabelle aufgeführt
2) Quelle: Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2004)
3) Gesamtfläche inkl. Flächenanteile von länderübergreifenden UZVR
4) Aufgrund länderübergreifender UZVR entspricht die Summe der UZVR in den Ländern nicht der Anzahl der UZVR für Deutschland

Quelle: *Bundesamt für Naturschutz 2004*

zelfall durch neue Verkehrswege sehr große und verkehrsarme Räume in kleinere, jedoch immer noch über 100 km² große Flächen fragmentiert werden. Deshalb erscheint es sinnvoll, diesen Indikator durch einen Indikator Effektive Maschenweite M_{eff} zu ergänzen, mit dem der mittlere Zerschneidungsgrad des Landes erfasst werden soll, und hierfür Handlungsziele vorzuschlagen [8]. Die effektive Maschenweite ist ein errechneter Mittelwert für die Maschengröße des Verkehrsnetzes nach einer Methode von JAEGER [9], die neben der Größe aller Teilräume auch die Struktur der Zerschneidung des gesamten betrachteten Raumes berücksichtigt.

[1] Umweltnutzung und Wirtschaft; Bericht zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen; Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2004
[2] UBA-Texte 90/03 Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr – Materialienband, Seite 292/293
[3] Raumordnungsgesetz (ROG) und BauGB, Novelle vom 20.07.2004 gemäß Europarechtsanpassungsgesetz
[4] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten; BBodSchG- Bundes-Bodenschutzgesetz vom 17. März 1998; in Kraft seit dem 1. März 1999
[5] Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz – BNatSchG) vom 25.03.2002, BGBl. I S. 1193
[6] Bundesministerium für Verkehr: Verkehr in Zahlen
[7] Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen (Amtsblatt Nr. L 206 vom 22/07/1992 S. 0007 – 0050)
[8] Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr – Materialienband (UBA-Texte 90/03, Berlin, Dezember 2003)
[9] Jochen Jaeger et al: Arbeitsbericht Juni 2002 (Nr. 214) der Akademie der Technikfolgenabschätzung Baden-Württemberg; „Landschaftszerschneidung in Baden-Württemberg“, vorgestellt im Fachgespräch der Länder-Initiative Kern-Umwelt-Indikatoren-LIKI – vom 08./09.07.2004

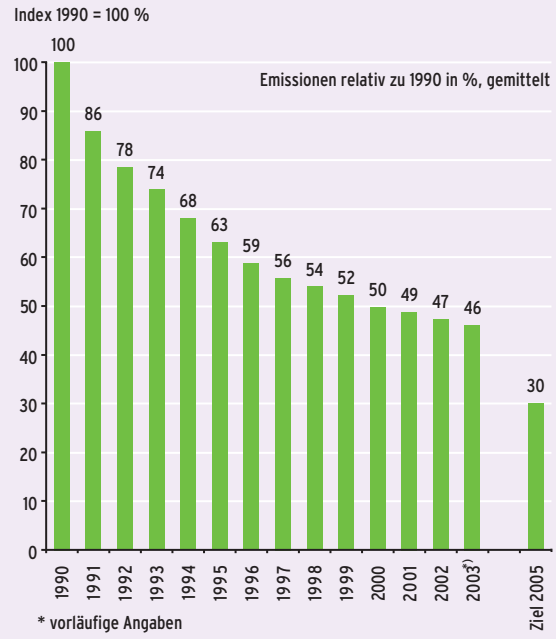
VIII 2.2 Stoffliche Belastungen und Wirkungen

VIII 2.2.1 Luftverunreinigungen und Nährstoffe

Luftverunreinigungen tragen wesentlich zur Belastung der Ökosysteme und der Artenvielfalt bei. Der seit den 70er Jahren bekannte grenzüberscheitende saure Regen machte deutlich, dass die Umweltprobleme nur durch internationale Anstrengungen bekämpft werden können. Der Genfer Luftreinhalte-Konvention der UN ECE über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigungen im Jahr 1979 folgten acht internationale rechtsverbindliche Vereinbarungen (Protokolle) zur Luftreinhaltung. In den 80er Jahren wurden Protokolle zur Bekämpfung des sauren Regens, in den 90er Jahren die Protokolle über flüchtige organische Verbindungen (Genf, 1991) und über die Schwermetalle und schwer abbaubare organische Stoffe (Aarhus, 1998) geschlossen. Die zunehmende Belastung der Umwelt durch bodennahes Ozon in den 90er Jahren machte eine internationale Vereinbarung zur Emissionsreduktion von Ozon-Vorläufersubstanzen (NO_x und VOC) notwendig. Es wurde ein integrierter Ansatz mit mehreren Schadstoffkomponenten (NO_x, VOC, SO_2, NH_3) einschließlich ihrer Wechselwirkungen in Betracht gezogen, um europaweit die Problembereiche bodennahes Ozon, Versauerung und Eutrophierung durch atmosphärischen Stickstoffeintrag zu lösen. Diese Ansätze gingen in das am 1. Dezember 1999 von Deutschland in Göteborg unterzeichnete Multikomponenten-Protokoll zur Verringerung von Versauerung, Eutrophierung und bodennahem Ozon [1] im Rahmen des Übereinkommens von 1979 über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung ein. Die Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen der EG (kurz: NEC-Richtlinie) [2] legt nach dem Göteborger Protokoll für die Unterzeichnerstaaten nationale Höchstmengen für die jährlichen Emissionen der geregelten Schadstoffe fest, die bis zum Jahr 2010 erreicht werden müssen.

In Anlehnung an die internationalen Vereinbarungen hat die deutsche Nachhaltigkeitsstrategie [3] eine Reduzierung der Schadstoffbelastung der Luft für die Emissionen von Schwefeldioxid (SO_2), Stickstoffoxiden (NO_x), Ammoniak (NH_3) und flüchtigen organischen Verbindungen ohne Methan (NMVOC) im Mittel um 70 % bis 2010 gegenüber 1990 festgelegt. Zur Verfolgung dieses Ziels werden die Schadstoffe SO_2, NO_x, NMVOC und NH_3 als prozentuale Emissionsentwicklungen gegenüber 1990 erfasst. Der in Abb. VIII 2.2.1-1 dargestellte Luftschadstoff-

Abb. VIII 2.2.1-1: *Luftschadstoffindex der Emissionen*



Quelle: *Umweltbundesamt 2005*

index zeigt den Mittelwert dieser vier relativen Emissionsentwicklungen. Der Luftschadstoffindex weist einen Rückgang der gemittelten prozentualen Emissionen der betrachteten Gase gegenüber 1990 um rund 54 % auf. Damit wurden 77 % des Indikatorziels erreicht.

Im Zeitraum von 1990 bis 2003 konnten die Schwefeldioxidemissionen durch Kraftwerksentschwefelung, Brennstoffumstellungen sowie gesetzliche Begrenzungen für Schwefelgehalte in flüssigen Brennstoffen um rund 90 % gemindert werden. Ebenfalls deutliche Minderungen um rund 60 % konnten im Bereich der flüchtigen organischen Verbindungen (ohne Methan) hauptsächlich durch die Katalysatortechnik im Straßenverkehr erreicht werden. Dieselbe Ursache ist auch, neben der Anwendung von Entstickungsanlagen im Kraftwerksbereich, für die Minderung der Stickstoffoxidemissionen zu benennen. Hier beträgt die Reduzierung ca. 50 %. Lediglich geringe Minderungen konnten im Bereich der weit überwiegend landwirtschaftlich verursachten Ammoniakemissionen durch die Verkleinerung der Tierbestände erzielt werden (um etwa −18 %).

Obwohl der Ausstoß von Luftschadstoffen in den letzten Jahren deutlich verringert wurde, ist er, gemessen an der dauerhaften Belastbarkeit der Ökosysteme, immer noch zu hoch. Dies gilt besonders für versauernde und eutrophierende Luftverunreinigungen (v. a. Stickstoffoxide und Ammoniak). Die über Jahrzehnte in den Böden angesammelten Einträge von Schwefel und Stickstoff aus der Vergangenheit werden noch lange eine kritische Altlast bleiben. So haben z. B. viele Waldböden erhebliche Anteile ihrer Nährstoffe verloren und versauern. Damit geht auch eine Belastung des Sickerwassers einher. Ammoniak, das durch Bodenbakterien zu Nitrat oxidiert wird, ist auch verantwortlich für die Nitratbelastung des Grundwassers und somit für die Gefährdung unseres Trinkwassers. Luftverunreinigungen führen neben anderen Faktoren auch zum Rückgang der Artenvielfalt.

Für eine weitere Verminderung der NO_x-Emissionen aus dem Straßenverkehr ist vor allem eine Emissionsminderung bei LKW (EURO 2–5) und eine umweltverträgliche Gestaltung des Verkehrs zu nennen.

Im Bereich der Lösemittel (NMVOC) besteht die Möglichkeit der Verwendung lösemittelarmer oder -freier Produkte in allen Produktbereichen, die durch zusätzliche europäische Regelungen zur Beschränkung des Lösemittelgehaltes in Produkten gefördert werden soll.

Als Felder für weitere Anstrengungen in der Luftreinhaltung kommen in Frage: Energiesparmaßnahmen, Steigerung der Energieeffizienz (z. B. durch verbrauchsarme Motoren und neue Antriebstechnologien), Einsatz von regenerativen Energien sowie die Verwendung emissionsarmer Einsatzstoffe und Produkte.

Nährstoffeinträge und Stickstoffüberschüsse

Überschüssige Nährstoffe (Phosphor und Stickstoff (Gesamt-N)) aus landwirtschaftlichen Quellen werden hauptsächlich in die Gewässer eingetragen und haben weitreichende Auswirkungen auf den Naturhaushalt (Versauerung, Eutrophierung, Nitratbelastung des Grundwassers, von Oberflächengewässern sowie der Meere, Beeinträchtigung der biologischen Vielfalt).

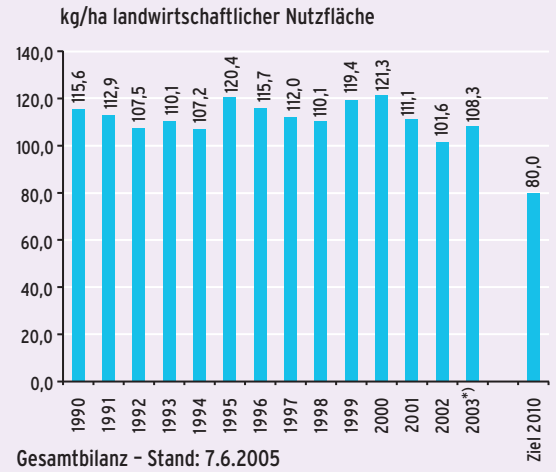
Während die Nährstoffeinleitungen aus punktförmigen Quellen (Einleitung von Abwässern) durch Verbesserungen der Reinigungsleistung der Kläranlagen deutlich reduziert werden konnten, stellen die Einträge aus diffusen Quellen (Versickerung, Abschwemmungen, Erosion, Niederschlag) ein noch weitgehend ungelöstes Problem dar. Die Stickstoffeinträge in Fließgewässer (rund 690 000 t im Jahr 2000) stammen zu 19 % aus punktförmigen Quellen, der größere Anteil erfolgt über diffuse Einträge überwiegend aus der Landwirtschaft (62 %). Dieser durch die Landwirtschaft eingebrachte Teil entspricht ca. 30 % der Menge, die in Deutschland als mineralischer Stickstoffdünger auf die Ackerfläche aufgebracht wird. Besonders in Gebieten mit hohem Viehbesatz werden Gülle und Mineraldünger in so großen Mengen auf den Feldern ausgebracht, dass sie von den Pflanzen nur zum Teil genutzt werden können.

Eine Maßzahl für die potenziellen Einträge in Grundwasser, Oberflächengewässer und die Luft ist der aus einer Stickstoffgesamtbilanz ermittelte Stickstoffüberschuss. Obwohl die durch die Landwirtschaft verursachten Nährstoffüberschüsse seit 1987 zurückgegangen sind, entstehen weiterhin durch intensive Düngung und die zu hohe Konzentration von Tierbeständen umweltbelastende Stickstoffüberschüsse. Dabei haben die diffusen Nährstoffquellen jeweils dort ihr Maximum, wo zu hohe Tierbestände auf austragungsgefährdeten Standorten gehalten werden. Dies ist beim Stickstoff im gesamten Nordwesten Deutschlands (Sandböden) und in einigen Gebieten des Alpenvorlandes (hohe Abflüsse) der Fall.

Ziel der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie [3] ist die Reduzierung des Gesamtbilanzüberschusses auf 80 kg/ha und Jahr bis zum Zieljahr 2010. Im Jahr

2003 lag der Stickstoffüberschuss in Deutschland bei 108 kg/ha (Abb. VIII 2.2.1-2). Ein eindeutiger Trend zur Verminderung des Stickstoffüberschusses ist in den 90er Jahren nicht erkennbar. Um das Ziel aus der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie zu erreichen, sind deshalb erhebliche politische Anstrengungen für wirksame Maßnahmen notwendig. Diese müssten vor allem zu einer gleichmäßigeren Verteilung des Viehbesatzes führen.

VIII 2.2.1-2: *Stickstoffüberschuss (Gesamtbilanz)[1)]*



[1)] aus Feld- und Stallbilanz über die Eintragspfade Boden, Wasser
*) vorläufige Werte

Quelle: *Umweltbundesamt 2005 a*

Eine Reihe von Regelungen, Instrumenten und Maßnahmen können zur Zielerreichung beitragen wie

- eine Erhöhung der Denitrifikationskapazität der Landschaft durch Rückstau oder Schließung von Dränagen, Wiedervernässung von Feuchtgebieten und Verbesserung der morphologischen Gewässerstruktur,
- die Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung, 1996; BGBL),
- eine Umstellung der EU-Agrarsubventionen von Produktionsmengen auf Flächenbeihilfen,
- eine bessere Ausbildung und Beratung der Landwirte,
- Kooperationen von Landwirten und Wasserwirtschaftlern, die in den Bundesländern an der Verminderung der landwirtschaftlich bedingten Gewässerbelastung arbeiten.

VIII 2.2.2 Eutrophierung

Eutrophierung (Überdüngung) bezeichnet die Anreicherung von Lebensräumen (terrestrische Ökosysteme und vorzugsweise geschlossene Gewässer) mit den Pflanzennährstoffen Stickstoff und Phosphor, wodurch Stoffkreisläufe verändert werden. Die Nährstoffe werden sowohl über die Atmosphäre (hauptsächlich Stickstoff-Verbindungen) als auch über den Wasserpfad (Überschüsse von Stickstoff- und Phosphatdünger aus der Landwirtschaft, Ableitungen von Phosphaten aus Weichmachern) in die Ökosysteme eingetragen. Eutrophierung ist ein Prozess, der auch in einer vom Menschen unbelasteten Umwelt in Erscheinung tritt, doch spielt sich die natürliche Eutrophierung in Zeiträumen von Tausenden von Jahren ab, die eine Anpassung von Lebensgemeinschaften erlaubt. Die anthropogen ausgelöste Eutrophierung über Jahre bis zu wenigen Jahrzehnten ist jedoch für Anpassungsprozesse zu kurz, die Lebensgemeinschaften werden gestört, wenn nicht sogar zerstört.

Eutrophierende Einträge in die Ökosysteme bewirken chronische Schäden an Pflanzen, da sie infolge des Nährstoffungleichgewichtes gegen Naturgewalten (Stürme, Wellenschlag bzw. Wasserströmung, Erdrutsche) Frost und Schädlinge hoch empfindlich werden. Dies führt zu einem Verlust der biologischen Vielfalt. So haben Pflanzen und Pflanzengesellschaften, die auf Magerstandorte angewiesen sind (das ist die Mehrzahl der Arten der Roten Liste) unter den derzeit herrschenden Immissionen längerfristig keine Überlebenschance; sie werden von nährstoffliebenden (nitrophilen), konkurrenzstarken Arten verdrängt. Da die meisten Tierarten an spezielle Pflanzenarten gebunden sind, trifft der in Deutschland weiterhin beobachtete Rückgang bei der Vielfalt der Pflanzenarten auch die Vielfalt der Tierarten.

Stickstoff wird aus der Atmosphäre über nasse Deposition (Regen, Schnee) und trockene Deposition (Gase, Partikel) in Ökosysteme eingetragen. Trockene Deposition ist landnutzungsabhängig und meist größer als die Nassdeposition; die Säureeinträge sind also um ein Mehrfaches höher als die durch die meisten Messnetze erfassten Stickstoffeinträge durch Niederschläge.

Critical Loads für Eutrophierung

Ein Maß für das Risiko der schädlichen Wirkung von Stickstoffeinträgen auf empfindliche Ökosysteme wie Wald, Heiden und Moore sind die Critical Loads für Eutrophierung. In der Massenbilanz zur Berechnung der Critical Loads für den eutrophierenden Stickstoffeintrag in Waldböden werden die Stickstoffeinträge den Prozessen gegenübergestellt, die Stickstoff im Ökosystem Wald binden oder unschädlich entfernen. Berücksichtigt werden dabei die Holzernte, die langfristige Bindung von Stickstoff in der Humusschicht, die Denitrifikation sowie der unbedenkliche Austrag über das Sickerwasser.

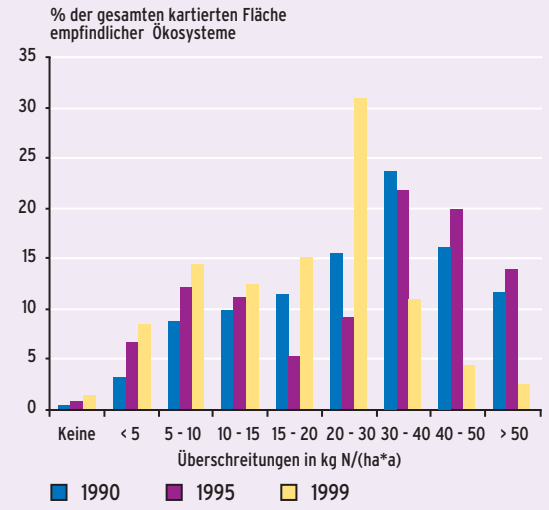
Nach dem Critical-Loads-Ansatz wird die Belastung der Ökosysteme mit aktuellen luftgetragenen Schadstoffen unter Zuhilfenahme von geographischen Informationssystemen räumlich differenziert dargestellt. Die Karten sind Grundlage für die Planung von Luftreinhaltemaßnahmen gemäß der Protokolle der Genfer Luftreinhaltekonvention (UN ECE).

Die Höhe der jeweils tolerierbaren Konzentration oder Deposition richtet sich allein nach den Eigenschaften des betrachteten Ökosystems. Bei langfristigen Gesamt-Depositionsraten unterhalb von Critical Loads treten nach bisherigem Wissen keine Wirkungen auf Struktur und Funktion von Ökosystemen auf. Es kann jedoch Jahrzehnte dauern, bis Ökosysteme auf Critical Loads-Überschreitungen reagieren, und selbst bei nachfolgender Unterschreitung von Critical Loads mehrere Jahrhunderte bis zur Erholung auf vorindustrielles Niveau.

Die Vereinbarungen im Multikomponenten-Protokoll zur Genfer Luftreinhalte-Konvention der UN ECE sowie die EG-Richtlinie zu Emissionsobergrenzen (NEC-Richtlinie) streben bis zum Zieljahr 2010 gegenüber dem Basisjahr 1990 eine europaweite Verringerung der Fläche der Ökosysteme, in denen die kritischen Belastungswerte überschritten werden, um etwa 50 % an. Daraus leiten sich für Deutschland für die folgenden Luftschadstoffe nationale Emissionsminderungsziele aus dem 1999 unterzeichneten UN ECE-Multikomponenten-Protokoll für 2010 auf der Basis 1990 ab: NH_3: −27 %; NO_x: −59 %; SO_2: −90 %; VOC: −68 %.

Die Einträge von Stickstoffverbindungen aus der Luft haben in den letzten Jahren abgenommen (Stickstoffoxide aus Industrie und Verkehr) oder aber stagnieren auf zu hohem Niveau (Ammoniak/Ammonium aus der Tierhaltung). Trotz dieser leichten Abnahme von Stickstoffeinträgen werden heute die Critical Loads für eutrophierenden Stickstoff immer noch fast auf der gesamten Fläche empfindlicher Ökosysteme in Deutschland überschritten (Abb. VIII 2.2.2-1). Vor allem die landwirtschaftlichen Gebiete Nordwest-Deutschlands, in denen auf empfindlichen Böden intensive Tierhaltung betrieben wird, sind von der Deposition von Ammoniumstickstoff und der dadurch verursachten Überschreitung der Critical Loads betroffen. Die durch Maßnahmen der internationalen Luftreinhaltepolitik erreichten Verbesserungen sind deshalb im Vergleich zu den Erfolgen bei versauernden Einträgen gering. In den nächsten Jahren ist insbesondere wegen der nur unwesentlich abnehmenden Ammoniak-Emissionen keine erhebliche Besserung zu erwarten, so dass mit einer weiteren flächendeckenden Eutrophierung naturnaher Ökosysteme gerechnet werden muss. Vor allem die in Deutschland herrschenden diffusen Stickstoffimmissionen, die die Böden eutrophieren und versauern, müssen daher weiterhin drastisch vermindert werden.

Abb. VIII 2.2.2-1: *Überschreitung der Critical Loads für Eutrophierung in kg Stickstoff pro Hektar und Jahr*



Quelle: *Umweltbundesamt 2005 b*

VIII 2.2.3 Versauerung

Analog zu den Critical Loads für die Eutrophierung geben Critical Loads für Versauerung das Risikopotenzial für die schädliche Wirkung von Schwefel- und Stickstoffeinträgen auf empfindliche Ökosysteme (z.B. Wald) an. Critical Loads werden dabei als Stofffrachten angegeben, d.h. als die Menge, die pro Fläche und Zeitraum im Ökosystem deponiert werden kann, ohne dass nach bisherigem Wissensstand deutliche Schadwirkungen auftreten.

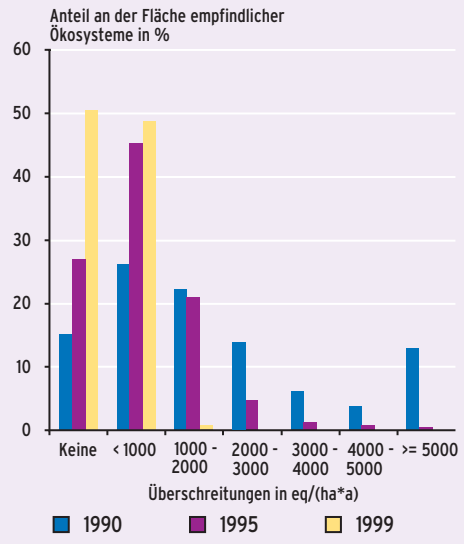
Neben Schwefeldioxid und Stickstoffoxiden und ihren sauren Folgeprodukten sind Ammoniakemissionen in die Luft (v.a. aus der Tierhaltung) letztlich säurewirksam: Das in den Boden eingetragene Ammoniak/Ammonium wird dort nitrifiziert. Sobald das entstehende Nitrat mit dem Sickerwasser ausgetragen wird, versauert der Boden.

Versauernde Schadstoffe bewirken akute und chronische Schäden an Pflanzen (Blatt- oder Waldschäden), gleichen die Bodenverhältnisse auf sehr ungünstigem (versauerten) Niveau an und können somit zur Reduktion der Artenvielfalt beitragen. Pflanzen und Pflanzengesellschaften, die auf neutrale Bodenverhältnisse angewiesen sind, haben unter den derzeit herrschenden Immissionen längerfristig keine Überlebenschance, sie werden von im sauren Milieu konkurrenzstarken Arten verdrängt.

Die versauernd wirkenden Schadstoffe werden oft über mehrere hundert bis tausend Kilometer in der Luft transportiert, bevor sie schädigend wirken. Es bedarf daher internationaler Emissionsminderungsverhandlungen, um zu effektiven und gerechten Lösungen zu kommen. Kartierungen von Critical Loads sind dabei eine wichtige Grundlage der europäischen Luftreinhaltepolitik nach der Genfer Luftreinhaltekonvention der UN ECE.

Die Einträge versauernder Schadstoffe aus Industrie, Verkehr und Landwirtschaft haben in den letzten Jahren abgenommen, jedoch werden die Critical Loads für Säure auf einem erheblichen Teil der gesamten Fläche empfindlicher Ökosysteme in Deutschland weiterhin überschritten (Abb. VIII 2.2.3-1), d.h. diese Gebiete versauern weiter. Die Einträge versauernder Stoffe und Überschreitungen der Critical Loads waren bis Mitte der Neunziger Jahre des letzten Jahrhunderts in emittentennahen Waldgebieten Thüringens und Sachsens am höchsten. Mittlerweile werden die Maxima im norddeutschen Tiefland auf empfindlichen Böden als Folge hoher Einträge von Ammoniumstickstoff aus landwirtschaftlichen Quellen (v.a. der Intensivtierhaltung) erreicht. Dies sind die Regionen, in denen auch Critical Loads für Eutrophierung am stärksten überschritten werden. Folglich sollten sich weitere Emissionsminderungsmaßnahmen verstärkt auf Ammoniakemittenten (Tierhaltung) beziehen.

Abb. VIII 2.2.3-1: *Überschreitung der Critical Loads für Versauerung in Säureäquivalenten*



Quelle: *Umweltbundesamt 2005 b*

Analog zur Bekämpfung der Eutrophierung nach der Genfer Luftreinhalte-Konvention der UN ECE und der EG-Richtlinie 2001/81/EG über Emissionsobergrenzen wird eine europaweite Verringerung der Fläche der Ökosysteme, in denen die Critical Loads überschritten werden, um 50 % bis 2010 gegenüber 1990 vorgegeben. Angesichts der Tatsache, dass trotz der Emissionsanstrengungen die Critical Loads für Versauerung weiterhin überschritten bleiben, ist zu erwarten, dass auch bei Einhaltung der Emissionsobergrenzen die Halbierung der von Critical-Loads- Überschreitungen betroffenen ökologischen Flächen nicht erreicht wird.

VIII 2.2.4 Ozonwirkungen auf Ökosysteme

Ozon hat eine schädigende Wirkung auf die Vegetation. Bei Kulturpflanzen können Ertrags- und Qualitätsverluste (z.B. Verfärbungen und Absterben von Blattteilen) auftreten, Bäume werden langfristig gegenüber Schädlingen hoch empfindlich.

Die Reaktionen einer Pflanze auf eine Ozonbelastung beruhen auf einer Abfolge von biochemischen und physiologischen Prozessen, die schließlich zu einer sichtbaren Schädigung führen können. Entscheidend für die Ozonwirkung und die Ausprägung von Blattschäden ist der Ozonfluss über die Spaltöffnungen in die Pflanze. Die Aufnahme durch die Blattoberfläche ist vernachlässigbar.

Es werden drei Wirkungsarten von Ozon auf Pflanzen unterschieden:

Akute Wirkungen treten während oder meist nach kurzen Belastungszeiten mit hohen Ozonkonzentrationen und infolge hoher Aufnahmeraten von Ozon durch die Pflanze auf. Sie äußern sich besonders in offen sichtbaren Symptomen wie punktförmigen oder flächenhaften Gewebezerstörungen (Nekrosen) oder Verfärbungen (Chlorosen).

Länger anhaltende Einwirkungen von vergleichsweise niedrigen Ozonkonzentrationen führen zu chronischen Wirkungen. Hierzu gehören ebenfalls offen sichtbare Symptome, z. B. Veränderungen des Wuchses (Zwergwuchs, Blattdeformation) oder häufiger noch Vergilbungen (Chlorosen) einzelner Blatt- oder Nadelbereiche oder ganzer Organe. Der Verlauf dieser Vorgänge entspricht oft natürlichen Alterungsprozessen der Pflanze, so dass man auch von verfrühter oder beschleunigter Alterung (Seneszenz) spricht.

Die dritte Art sind latente Wirkungen. Hierunter werden Veränderungen gezählt, die sich nicht mit offen erkennbaren gut charakterisierten Symptomen äußern. Sie umfassen Veränderungen biochemischer und physiologischer Prozesse oder zellulärer und subzellulärer Strukturen (z. B. Störung der Photosynthese, Bildung von „falschen“ Stoffwechsel(zwischen)produkten, Membranänderungen), Störungen der Funktion der Spaltöffnungen und können

Wachstum und Ertrag reduzieren. Häufig treten die Folgen dieser Reaktionen erst bei zusätzlicher Anwesenheit oder Einwirkung anderer Stressfaktoren auf (Trockenheit, Insektenbefall, Tritt) und mindern die Leistung der Pflanze.

Zu den empfindlichsten Rezeptoren in Mitteleuropa gehören Buche, Lärche, Kiefer und andere Waldbäume so wie landwirtschaftlich genutzte Pflanzen wie Weizen oder Kartoffel.

Ozon ist wegen seiner hohen Konzentrationen in Schönwetterperioden Leitsubstanz des sog. Sommersmogs. Der Sommersmog ist durch eine hohe Konzentration von sogenannten Photooxidantien wie eben Ozon, Peroxiden, Aldehyden und organischen Stickstoffverbindungen gekennzeichnet. Die Photooxidantien werden nicht direkt emittiert, sondern bilden sich erst in der Atmosphäre durch komplexe photochemische Reaktionen.

Die Bildung des bodennahen Ozons ist an Vorläuferstoffe wie Stickstoffoxide (NO_x) und flüchtige organische Verbindungen (VOC) gebunden. Eine wichtige Quelle für die Emission der Vorläufersubstanzen ist der Kfz-Verkehr. Darüber hinaus werden vor allem aus dem Kraftwerksbereich Stickstoffoxide und aus der Anwendung von Lacken und Lösemitteln flüchtige organische Verbindungen emittiert. Die Emissionen sind teilweise auch natürlichen Ursprungs.

Die Höhe und Häufigkeit der kurzzeitigen Ozonspitzenkonzentrationen hängen entscheidend vom Verlauf des jeweiligen Sommers ab.

Besonders hohe Ozonkonzentrationen werden episodisch in Jahren mit langanhaltenden Schönwetterperioden im Sommer erreicht. Als Episoden werden mindestens 2 Tage andauernde Situationen bezeichnet, bei denen großräumig Überschreitungen des Wertes von 180 µg/m^3 auftreten.

Die sehr komplizierten Bedingungen für das Entstehen hoher Ozonbelastungen aus anderen Luftverunreinigungen haben dazu geführt, dass trotz des seit 1990 in Deutschland zu beobachtenden Rückgangs der Emissionen der Vorläufersubstanzen eine Abnahme der Ozonbelastung erst sehr undeutlich zu beobachten ist (siehe auch Kap. V 1.4 „Bodennahes Ozon und Sommersmog“).

Critical Levels für Ozon – ein Schutzwert für Pflanzen

Seit 1988 besteht nach der Luftreinhaltekonvention der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa das International Cooperative Programme for Research on Evaluating Effects of Air Pollutants and other Stresses on Agricultural Crops and Non-woody Plants (ICP-Vegetation). Unter der Führung von Großbritannien als koordinierender Nation hat sich das Programm von ursprünglich 8 auf 22 europäische Länder und die USA erweitert. In den letzten Jahren trug das Programm maßgeblich zum Konzept der „kritischen Konzentrationen“ (critical levels for ozone) in der Ozon-Wirkungsforschung bei.

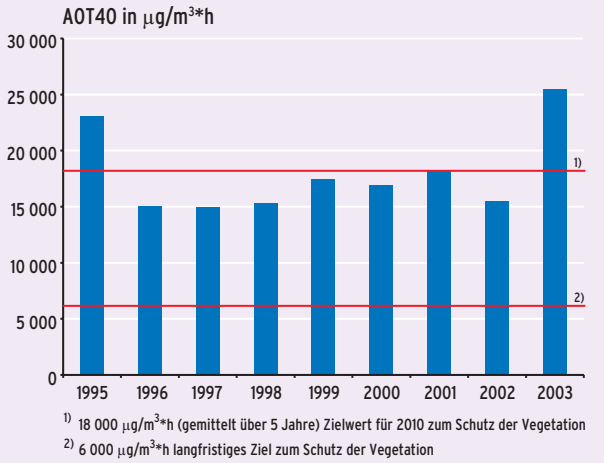
Begasungsversuche an verschiedenen Pflanzenarten zeigen, dass Schädigungen durch Ozoneinwirkung (in diesem Fall Biomasseverlust) weniger mit der mittleren Konzentration über einen bestimmten Zeitraum als mit der Häufigkeit des Auftretens von hohen Konzentrationen korrelieren. Deshalb werden Critical Levels als kumulierte Dosis, dem so genannten AOT40-Wert (Accumulated Exposure Over a Threshold of 40 ppb) definiert. Alle Überschreitungen eines Stundenmittels von 40 ppb (40 ppb entspricht 80 µg/m^3) werden summiert. Diese Summe (angegeben in ppb • h) sollte für landwirtschaftliche Nutzpflanzen den Critical Level von 3 000 ppb • h und für Waldgebiete von 10 000 ppb • h nicht überschreiten. Berücksichtigt wird nur der Zeitraum der höchsten Sensitivität des Rezeptors, die Hauptwachstumsphase (in Deutschland: Mai bis Juli für landwirtschaftliche Nutzpflanzen, April bis September für Waldgebiete). Der Berechnungszeitraum ist auf die Stunden mit Tageslicht beschränkt.

Bei Einhaltung des Critical Levels für Vegetation nach der Genfer Luftreinhalte-Konvention ist nicht mehr mit statistisch signifikanten Schädigungen an Pflanzen zu rechnen. Eine quantitative Aussage, z.B. dass mit der vierfachen Überschreitung des Critical Levels auch ein vierfacher Biomasseverlust einhergeht, ist jedoch nicht möglich.

Nach der neuen EG-Richtlinie 2002/3/EG [4] gilt als Zielwert für den Schutz der Vegetation ein Expositionsindex AOT40 von 18 000 [µg/m^3] h, gemittelt über 5 Jahre, der bis zum Jahr 2010 zu erreichen ist. Das Langfristziel für den Schutz der Vegetation ist es, im Jahre 2020 den Critical Level für Vegetation (6 000 [µg/m^3] h) flächendeckend zu erreichen.

Die Abbildung VIII 2.2.4-1 zeigt für die Jahre 1995 bis 2003 AOT40-Werte (Mittelwerte aus ländlichen Hintergrundstationen). Es ist kein eindeutiger Trend zu erkennen, und die Werte liegen weit über dem Wirkungsschwellenwert. Der starke Einfluss meteorologischer Verhältnisse auf die Ozonbelastung zeigte sich vor allem in den Jahren 1995 und 2003.

Abb. VIII 2.2.4-1: *Ozonbelastung der Vegetation – AOT40-Mittelwerte aus ländlichen Hintergrundstationen*



Quelle: *Umweltbundesamt 2004*

Im Sommer 2003 herrschte eine außergewöhnliche Wettersituation mit sehr hoher Strahlenintensität und somit für die Ozonbildung sehr günstigen Bedingungen. Es bildete sich ein sehr hoher Sockel an Ozon, auf den sich die Spitzen mit Schwellenwertüberschreitungen aufsetzten (siehe Kap. V 1.4 Bodennahes Ozon und Sommersmog). Diese außergewöhnliche Belastung wirkte sich auf den Waldzustand in vollem Maße erst im Jahr 2004 aus [5].

[1] Achtes Protokoll zum Übereinkommen von 1979 über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung der Europäischen Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen (UN/ECE) (kurz: Multikomponenten – Protokoll vom 30. November 1999): „Protocol to the 1979 Convention on Long-range Transboundary Air Pollution to abate Acidification, Eutrophication and Ground-Level Ozone“

[2] Richtlinie 2001/81/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2001 über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe: Anhang I).

[3] Perspektiven für Deutschland, Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung, April 2002

[4] EU-Richtlinie 2002/3/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12.02.2002 über den Ozongehalt der Luft, in deutsches Recht umgesetzt durch die 33. BImSchV vom 13.07.2004

[5] Bericht über den Zustand des Waldes-Ergebnisse des forstlichen Umweltmonitorings; Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft; Dezember 2004

VIII 3 Maßnahmen zur Erhaltung der Ökosysteme und der biologischen Vielfalt

VIII 3.1 Erhaltung und nachhaltige Nutzung der biologischen Vielfalt in der Landwirtschaft

Etwa 7 000 Pflanzenarten (Zier- und Forstpflanzen nicht inbegriffen) werden gegenwärtig weltweit durch Menschen genutzt. Von den ca. 3 240 Arten wildwachsender Blütenpflanzen in Deutschland werden knapp 1 000 Arten als genetische Ressourcen gewertet.

Die zwischen- und innerartliche Vielfalt in Landwirtschaft und Gartenbau ist stark bedroht, da Maßnahmen wie die industrielle Erzeugung und Verwendung, Importe aus Gebieten mit ökologisch und ökonomisch günstigeren Produktionsbedingungen sowie die in Folge der Standortnivellierung durch Düngung und Pflanzenschutz bedingte relative Vorzüglichkeit hochgezüchteter, ertragsstarker Arten und Sorten die ursprünglichen Kulturarten verdrängen.

Auch bei den Tieren hat sich eine ähnlich bedrohliche Entwicklung vollzogen. Auch hier hat es vor allem seit Mitte des vorigen Jahrhunderts einen deutlichen Rückgang der Rassenvielfalt sowie der genetischen Variabilität innerhalb der Rassen gegeben. Besonders deutlich manifestiert sich diese Entwicklung bei den landwirtschaftlich genutzten Tierarten. Wie im pflanzlichen Bereich sind die Ursachen hierfür vor allem in der zunehmenden Industrialisierung von Produktion und Züchtung zu suchen.

Internationale Maßnahmen

Auf internationaler Ebene wurde das Problem schon vor Jahrzehnten erkannt. 1983 entwickelte die FAO ein Globales System zur Erhaltung und nachhaltigen Nutzung pflanzengenetischer Ressourcen. Das System umfasst das internationale Netzwerk von Ex-situ-Sammlungen, das Weltinformations- und Frühwarnungssystem (WIEWS) und den 1996 verabschiedeten Weltaktionsplan zur Erhaltung pflanzengenetischer Ressourcen. Der globale Aktionsplan für die Erhaltung und nachhaltige Nutzung pflanzengenetischer Ressourcen für Ernährung und Landwirtschaft umfasst Vorschläge für 20 Maßnahmenpakete in den Bereichen In-situ-Erhaltung, Ex-situ-Erhaltung, Nutzung pflanzengenetischer Ressourcen und Aufbau von Kapazitäten und Institutionen. Die Umsetzung obliegt den Mitgliedstaaten und wird von der FAO überwacht.

Ebenso fordert die FAO die Erhaltung alter und gefährdeter Haustierrassen sowie die Schaffung von nachhaltigen Strukturen, in deren Rahmen alte Haustierrassen und tiergenetische Ressourcenpopulationen ökonomisch gewinnbringend gehalten und gezüchtet werden können.

Maßnahmen der Europäischen Union

Auf europäischer Ebene wurde die Einbindung der biologischen Vielfalt in die Gemeinsame Agrarpolitik in hohem Maße durch die Umsetzung der Agenda 2000 bestimmt. 2001 wurde der Aktionsplan der

europäischen Gemeinschaft für die Erhaltung der biologischen Vielfalt in der Landwirtschaft [1] verabschiedet, um die Ursachen für den deutlichen Rückgang oder Verlust der biologischen Vielfalt vorherzusagen, zu vermeiden oder auszuschalten. Dieser Akt steht in Zusammenhang mit anderen internationalen Anstrengungen, insbesondere mit dem internationalen Übereinkommen über die biologische Vielfalt. Der Aktionsplan legt großes Gewicht auf Agrarumweltmaßnahmen, die konkret auf die Unterstützung natur- und umweltschonender landwirtschaftlicher Praktiken abgestellt sind, um damit die Umwelt und den ländlichen Lebensraum zu erhalten und das ländliche Erbe Europas zu bewahren. So ist bei intensiven Landbaupraktiken ein vernünftiger Grad der Intensivierung zu erreichen, bei dem negative Auswirkungen auf die biologische Vielfalt vermieden werden. Hierzu gehören Maßnahmen wie die Verminderung des Düngemitteleinsatzes, die Einführung extensiver Produktionsmethoden sowie die nachhaltige Bewirtschaftung von Naturressourcen. Es sind Maßnahmen zur Erhaltung lokaler Rassen und Sorten sowie der Vielfalt der in der Landwirtschaft zum Einsatz kommenden Sorten durchzuführen. Die Ausbreitung nicht einheimischer Arten ist zu verhindern.

Am 24. April 2004 wurde mit der Verordnung (EG) Nr. 870/2004 [2] ein Gemeinschaftsplan verabschiedet, nach dem die Finanzierung von Maßnahmen zur Erhaltung, Charakterisierung, Sammlung und Nutzung genetischer Ressourcen in der Landwirtschaft sowie der Informationsaustausch und die Koordinierung zwischen Mitgliedstaaten und der Kommission ermöglicht werden sollen. Die Verordnung zielt ebenfalls darauf ab, die Koordinierung im Bereich der auf internationaler Ebene eingegangenen Verpflichtungen hinsichtlich genetischer Ressourcen in der Landwirtschaft zu verbessern.

Nationale Maßnahmen

Natur- und umweltschonende landwirtschaftliche Praktiken

Dem Verlust der biologischen Vielfalt muss vor allem bei den in der Land-, Forst-, Fischerei- und Ernährungswirtschaft nutzbaren Lebewesen entgegengewirkt werden, um die genetische Basis für zukünftige Anpassungen und die Grundlagen für eine vielfältige Ernährung sowie nachwachsende Rohstoffe und erneuerbare Energieträger zu erhalten. Nach einer Konzeption des BMVEL zur Erhaltung und nachhaltigen Nutzung genetischer Ressourcen für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten wurde ein nationales Fachprogramm entwickelt. Außerdem wurde ein Beirat für genetische Ressourcen eingerichtet, der das BMVEL in grundsätzlichen und übergreifenden Fragen beraten soll. Weiterhin wurden bereits spezielle Fachprogramme für die Bereiche Forstpflanzen, landwirtschaftlich und gartenbaulich genutzte Pflanzen, Nutztiere und Fische eingerichtet, in deren Rahmen konkrete Maßnahmen in Zusammenarbeit mit den Ländern und beteiligten Kreisen vereinbart sind. Diese Bemühungen sind ein wesentliches Element der Strategie für eine nachhaltige Entwicklung der Bundesregierung.

Nationales Fachprogramm für pflanzengenetische Ressourcen

Das BMVEL (früher BML) hatte bereits 1990 eine erste Konzeption für pflanzengenetische Ressourcen (PGR) erarbeitet, die 1998 an die durch die internationale Rechtsentwicklung veränderten Rahmenbedingungen angepasst wurde. Diese sieht für die einzelnen Teilbereiche genetischer Ressourcen für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Fachprogramme vor, die Bestandteile eines umfassenden nationalen Programms sind.

Das Nationale Fachprogramm für PGR wurde von einer Arbeitsgruppe aus Vertretern von Bund und Ländern, Universitäten, Ressortforschung und Verbänden unter Leitung des BMVEL erarbeitet und 2002 von der Agrarministerkonferenz verabschiedet. Es orientiert sich am Globalen Aktionsplan der FAO und zielt darauf ab, dort vorgeschlagene Maßnahmen auf nationaler Ebene in geeigneter Weise umzusetzen. Dabei soll auf bestehende Maßnahmen aufgebaut werden.

Zur Erhaltung pflanzengenetischer Ressourcen wird aufgrund der Komplexität der Ausgangslage ein integrativer Ansatz unter Nutzung der *In-situ*-Erhaltung, *On-farm*-Bewirtschaftung und *Ex-situ*-Erhaltung verfolgt. Im Einzelnen gehören dazu

- die langfristige Erhaltung wildwachsender und kultivierter PGR in wissenschaftlich abgesicherter und kosteneffizienter Weise *in situ* und *ex situ* sicherzustellen,
- PGR durch geeignete Maßnahmen (u.a. durch Charakterisierung und Evaluierung) verstärkt nutzbar zu machen,
- die Vielfalt landwirtschaftlicher und gartenbaulicher Kulturpflanzenarten und -sorten (einschließlich Zierpflanzen) in der wirtschaftlichen Nutzung zu erhöhen,
- einen Beitrag zur Erhaltung und Wiederherstellung landwirtschaftlich und gartenbaulich geprägter Ökosysteme einschließlich der obstbaulichen und Grünlandökosysteme zu leisten,
- mehr Transparenz bei den verteilten Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten bei der Erhaltung und Nutzung von PGR herzustellen und

- Synergien zu nutzen, die sich aus einer verstärkten Zusammenarbeit auf der nationalen und internationalen Ebene ergeben können.

Der Bund, die Länder sowie die einzelnen Institute, Gremien und Akteure stellen durch eigene Leistungen die Durchführung dieses Fachprogramms sicher. Das BMVEL, im Rahmen der Bundesregierung federführend für dieses Fachprogramm, wird bei der Durchführung der ihm obliegenden Zuständigkeiten, insbesondere bei der Koordination von Maßnahmen, von einem Beratungs- und Koordinierungsausschuss für PGR, dessen pflanzen- und themenspezifische Expertengruppen und einem Sekretariat beim IBV der ZADI unterstützt.

Die Länder unterstützen das Programm durch die Einrichtung eigener Landesprogramme oder durch die Einbeziehung einzelner Maßnahmen in bestehende Programme.

Nationales Fachprogramm zur Erhaltung und nachhaltigen Nutzung tiergenetischer Ressourcen (Nationales Fachprogramm TGR)

In Deutschland wurde die Forderung der FAO zur Erhaltung alter und gefährdeter Haustierrassen sowie zur Schaffung diesbezüglicher nachhaltiger Strukturen im Gesetz zum Übereinkommen über die Biologische Vielfalt in nationales Recht umgesetzt. Damit besteht zunächst eine Berichtspflicht des Bundes gegenüber der FAO bezüglich der tiergenetischen Ressourcen. 2002 wurde der FAO der erste deutsche Bericht zur Situation tiergenetischer Ressourcen vorgelegt, erstellt von einer Projektgruppe des Arbeitsausschusses zur Erhaltung der genetischen Vielfalt bei landwirtschaftlichen Nutztieren der Deutschen Gesellschaft für Züchtungskunde e.V. (DGfZ).

Dieselbe Projektgruppe erarbeitete das Nationale Fachprogramm TGR. Es greift konkret die Situation der gefährdeten Haustierrassen in Deutschland auf und wird Zucht, Haltung und Erhaltung in ein zielgerichtetes an der Erhaltung der biologischen Vielfalt orientiertes Rahmengerüst kleiden. Darin werden sich Wissenschaft, Züchter, Verbände, Vereine und Organisationen, Bund und Länder in gemeinsame Handlungsverpflichtungen und -abläufe einbringen, um den genannten Zielsetzungen gerecht zu werden.

Um eine Arbeit im Sinne der Erhaltung der biologischen Vielfalt leisten zu können, ist es wichtig, genaue und umfassende Kenntnisse über die Situation insgesamt sowie über Teiltatbestände und spezifische Fakten zu haben. Deshalb ist die Dokumentation und Information ein wesentlicher Bestandteil des Fachprogramms und wird von der Zentralen Dokumentation Tiergenetischer Ressourcen in Deutschland (TGRDEU) wahrgenommen. Neben der reinen Dokumentation ist TGRDEU für die Schaffung einer organisatorischen und informationstechnologischen Infrastruktur zuständig. Mit dieser soll jederzeit eine Übersicht (Monitoring) über die Situation der einzelnen Rassen gewährleistet werden, um rechtzeitig die Gefährdung einer Rasse/Population zu erkennen und Handlungsbedarf abzuleiten.

Weiterer Schwerpunkt des Programms sind die Planungen für die Anlage und Verwaltung einer umfassenden und für eine jeweilige Rasse repräsentativen Kryokonserve.

Insgesamt ist mit dem Nationalen Fachprogramm TGR ein Rahmen und Maßnahmenplan zur Erhaltung von Genreserven und genetischer Ressourcen in Deutschland geschaffen worden. In den kommenden Jahren muss dieser Plan schrittweise umgesetzt werden. Dabei sind nicht allein Schwierigkeiten bei der Finanzierung und technischen Einführung der vorgesehen Maßnahmen zu überwinden. Neben der Schaffung der erforderlichen Rahmenbedingungen muss auf Dauer erreicht werden, dass alle Beteiligten, Zuchtorganisationen und Züchter, private Erhaltungsorganisationen sowie Fachleute aus Forschung und Verwaltung zur Erhaltung und nachhaltigen Nutzung der tiergenetischen Ressourcen konstruktiv zusammenarbeiten.

Im Bereich Forschung und Entwicklung haben sich gerade in den letzten Jahren Methoden und Verfahren etabliert, die auf Basis molekularbiologischer Untersuchungen geeignete Ergebnisse hinsichtlich einer Beschreibung, Evaluierung und Charakterisierung von Einzeltieren und Rassen ermöglichen. Ebenfalls im Forschungs- und Entwicklungsbereich anzusiedeln sind die Anstrengungen, die darauf abzielen, auf vorwiegend populationsgenetischer Basis beruhende und zu entwickelnde Zuchtprogramme für kleine Populationen auszuarbeiten.

Der optimale Ansatz „Nutzung in-situ“ trägt sich finanziell nur bei den sogenannten Leistungsrassen weitgehend selbst. Weil die Gefährdung überwiegend Ergebnis wirtschaftlicher Unterlegenheit der Rassen gewesen ist, können die Landwirte in der Regel nur durch staatliche Kompensationszahlungen zur Haltung und Nutzung bewegt werden. Durch die Förderung extensiver und umweltschonender Tierhaltung ist nicht automatisch eine Nutzung gefährdeter Rassen erreichbar. Fördermittel zur Landschaftspflege sind bisher nicht an die Verwendung einheimischer oder gar gefährdeter Rassen gebunden. Zur Mutterkuhhaltung werden häufig französische oder schottische Rassen verwendet, aber z. B.

nicht heimisches Gelbvieh oder Rotvieh, die im Übrigen ursprünglich als Milchrassen gezüchtet wurden.

Fördermittel zur Haltung von Tieren vom Aussterben bedrohter Rassen werden im Rahmen der Agrarumweltprogramme angeboten und haben auch deutlich zur Stabilisierung der Bestandszahlen beigetragen.

Für den Ökolandbau oder extensive Tierhaltungsformen können alte Nutztierrassen nicht als generell geeignet oder gar als besonders geeignet angesehen werden. Da auch im Ökolandbau die Wirtschaftlichkeit gegeben sein muss, ist häufig der Leistungsabstand zu aktiv weitergezüchteten Rassen zu groß geworden. Nur im Fall bestimmter Rassen, und dies meist nur bei Erschließung besonderer Nischen, ist ein Konzept zur Erhaltung von Rassen durch Nutzung im Öko-Landbau tragfähig.

Die Erschließung neuer Nutzungsmöglichkeiten für alte Rassen ist bisweilen im Rahmen der Vermarktung unter traditionellen, meist regionsbezogenen Rassenamen erfolgreich gewesen. Dabei darf nicht übersehen werden, dass solche Programme eine sehr gute Organisation und aufwändiges Marketing brauchen. Die meist notwendigen, weit überdurchschnittlichen Produktpreise begrenzen diese Nutzungsformen oft auf Nischenmärkte.

Alle Erhaltungsmaßnahmen können nur dann erfolgreich sein, wenn sie sehr langfristig abgesichert sind. Allein auf persönlichen Einsatz und Idealismus von Tierhaltern kann man daher langfristige Erhaltungsprogramme nicht bauen, wenn auch ein solcher privater Einsatz Unschätzbares erhalten hat und auch zukünftig unverzichtbar sein wird.

Nicht nur die aktuelle Lage der öffentlichen Kassen macht klar, dass die Erhaltung der gesamten genetischen Vielfalt nicht auf Dauer dem Staat aufgebürdet werden kann. Aufgabe des Staates ist es vor allem, Konzepte zur Erhaltung zu entwickeln und modellhaft umzusetzen. Wenn auch zu hoffen ist, dass auch in Zukunft öffentliche Mittel für diesen Bereich bereitgestellt werden können, ist eine dauerhafte Förderung jeder gefährdeten Rasse nicht vorstellbar.

[1] Mitteilung der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament- Aktionsplan zur Erhaltung der biologischen Vielfalt in der Landwirtschaft; KOM(2001)162 endgültig

[2] Verordnung (EG) Nr. 870/2004 des Rates vom 24. April 2004 über ein Gemeinschaftsprogramm zur Erhaltung, Charakterisierung, Sammlung und Nutzung genetischer Ressourcen in der Landwirtschaft und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1467/94

VIII 3.2 Umweltmaßnahmen im Agrarbereich und deren Förderung

Agrarumweltförderung

Den Agrarlandschaften kommt wegen ihres großen Anteils an der Gesamtfläche Deutschlands eine besondere Bedeutung für den Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen zu, da sie ein wesentlicher Teil unserer Umwelt, Reservoir für die Wassergewinnung und Lebensgrundlage für viele wild lebende Tier- und Pflanzenarten sind. Deshalb ist es ein zentrales Ziel, die Umweltbelastungen durch die landwirtschaftliche Nutzung zu verringern und eine nachhaltige, umweltverträgliche Landbewirtschaftung zu verwirklichen, die den Gesamtressourcenbestand für zukünftige Nutzungen erhält oder in der Vergangenheit entstandene Belastungen abbaut. Die Förderung umweltverträglicher Produktionsweisen wird im Rahmen der Agrarumweltmaßnahmen verwirklicht.

Rechtsgrundlage der Agrarumweltförderung bildet die Verordnung (EG) Nr. 1257/1999, geändert durch Verordnung 1783/2003, über die Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums durch den Europäischen Ausrichtungs- und Garantiefonds für die Landwirtschaft (EAGFL).

National setzen die Länder die Verordnung durch landesspezifisch ausgestaltete Länderprogramme um; der Bund beteiligt sich zudem an der Finanzierung der Maßnahmen auf der Basis des Fördergrundsatzes „Markt- und standortangepasste Landbewirtschaftung“ im Rahmen der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ (GAK).

Gefördert werden u.a. umweltgerechte Anbauverfahren, die mehrjährige Stilllegung von Flächen zu Umweltzwecken und umwelt- und tiergerechte Haltungsverfahren. In den Länderprogrammen werden darüber hinaus eine Reihe länderspezifischer Maßnahmen angeboten, die zum Teil auch weitergehende Verpflichtungen im Bereich des Naturschutzes und der Landschaftspflege zur Erhaltung der Arten- und Lebensraumvielfalt zum Inhalt haben.

An der Finanzierung der GAK-Maßnahmen beteiligen sich die Europäische Union, der Bund und die Länder. Auch viele landeseigene Programme sind mittlerweile in EU-kofinanzierte Agrarumweltprogramme überführt. Der EU-Kofinanzierungsanteil beträgt derzeit 60 %, in den neuen Ländern 85 %.

Im Jahr 2002 wurden Agrarumweltmaßnahmen in Deutschland von rd. 310 000 antragstellenden Landwirten in einem Umfang von etwa 689 Mio. Euro

(Jahr 2000: etwa 400 000 Anträge, Fördervolumen 538 Mio. Euro) mit Mitteln von EU, Bund und Ländern gefördert. Von der Förderung werden rund 43 % des Grünlandes und 12 % der Ackerflächen in Deutschland erfasst [1].

Seit Einführung der Agrarumweltmaßnahmen im Jahr 1993 wurden die Flächen bis 1997 ständig ausgeweitet und waren dann ab 1998 leicht rückläufig. Diese Entwicklung erklärt sich hauptsächlich dadurch, dass die umweltbezogene Grundförderung deutlich zurückgefahren wurde. Die Beihilfen für anspruchsvollere Agrarumweltmaßnahmen in Acker- oder naturschutzwürdigen Flächen sind mit dem Übergang zur Förderperiode 2000 bis 2006 angehoben worden. Dadurch stiegen die durchschnittlich verausgabten Fördermittel von 91 EUR/ha im Jahr 1998 auf 127 EUR/ha im Jahr 2000. Die geförderte Fläche stieg im Jahr 2001 auch wieder deutlich an (Tab. VIII 3.2-1). Der erneute Rückgang des Flächenanteils im Jahr 2002 lässt jedoch keinen Schluss auf die zukünftigen Entwicklungstendenzen zu.

Tab. VIII 3.2-1: *Entwicklung der Flächen und Fördermittel im Rahmen der Agrarumweltförderung*

		1994	1998	1999	2000	2001	2002
Geförderte Fläche	Mio. ha LF	4,5	5,0	4,7	4,2	5,0	4,2
Fördermittel	Mio. EUR	415	456	612	538	692	689

Quelle: *Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft 2004 a*

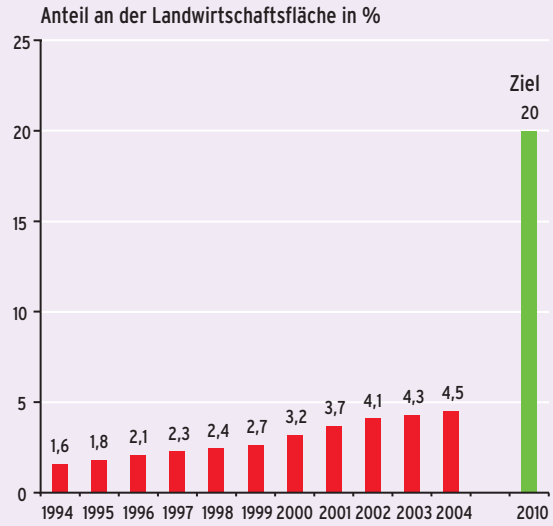
Ökologischer Landbau

Eine vom Europäischen Ausrichtungs- und Garantiefonds für die Landwirtschaft (EAGFL) geförderte besonders ressourcenschonende, umweltverträgliche und tiergerechte Form des Wirtschaftens ist der Ökologische Landbau. In den Betrieben, die nach den Grundsätzen des ökologischen Landbaus wirtschaften, wird u.a. auf mineralische Stickstoffdüngemittel und chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel verzichtet. Die Anzahl der Tiere ist in Abhängigkeit von der Betriebsfläche begrenzt. Bei der Bewirtschaftung ist es Ziel, durch möglichst geschlossene Nährstoffkreisläufe Umweltbelastungen zu vermeiden. Der Ökologische Landbau ist außerdem durch tiergerechte Haltungsverfahren und eine vielfältige Fruchtfolge gekennzeichnet.

Der ökologische Landbau ist ein wesentliches Element einer am Leitbild der Nachhaltigkeit ausgerichteten Agrarpolitik. Ihm kommt eine Vorreiterrolle für eine nachhaltige Landbewirtschaftung zu. Deshalb wurde der Flächenanteil des ökologischen Landbaus als ein Schlüsselindikator in die nationale Nachhaltigkeitsstrategie [2] aufgenommen.

In Deutschland wurden Ende 2003 ca. 4,3 % der Anbaufläche nach den Prinzipien des Ökologischen Landbaus mit weiter zunehmender Tendenz in 2004 (4,5 %) (Abb. VIII 3.2-1) bewirtschaftet. Deutschland liegt damit – bezogen auf den Flächenanteil – im europäischen Vergleich über dem EU-Durchschnitt (Stand 31.12.2003) auf einem mittleren Platz hinter Österreich (12,9 %), Finnland (7,2 %), Italien (6,9 %), Schweden (6,8 %) oder Dänemark (6,1%) (Kap. II 2.4) [3].

Abb. VIII 3.2-1: *Entwicklung der Anbaufläche des Ökologischen Landbaus*



Quelle: *Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft 2004 b*

[1] Mitteilung des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Referat 526
[2] Perspektiven für Deutschland – Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung; Fortschrittsbericht der Bundesregierung 2004
[3] Stiftung Ökologie & Landbau (2004): Organic Farming in Europe (www.organic-europe.net/europe_eu/statistics.asp) (Stand: 31.12.2003)

VIII 3.3 Nachhaltige Waldbewirtschaftung

In Anbetracht eines Waldanteils von ca. 30 % kommt in Deutschland als ursprünglich nahezu vollständig von Wald bedecktem Land der nachhaltigen Waldbewirtschaftung große Bedeutung für die Erhaltung der biologischen Vielfalt zu. Naturnahe Bewirtschaftungsformen sind eine Voraussetzung für den Fortbestand und die Entwicklung der charakteristischen Arten- und Lebensraumvielfalt der Wälder.

Ziel der Bundesregierung ist eine naturnahe Waldbewirtschaftung auf möglichst der gesamten forstwirtschaftlich genutzten Waldfläche in Deutschland

(Perspektiven für Deutschland: Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung, 2002). Einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung dieses Ziels leisten staatliche Maßnahmen (z.B. Förderung, Gesetzgebung etc.). Andererseits werden jedoch auch in der Forstwirtschaft gesellschaftlich gewünschte Steuerungsleistungen immer öfter durch Verhandlungen autonomer Individuen, Gruppen oder Institutionen erbracht. Die Zertifizierung spielt als privatwirtschaftliches Instrument zur Förderung einer naturschutzgerechten, sozialverträglichen und wirtschaftlich ertragreichen nachhaltigen Waldwirtschaft eine zunehmende Rolle bei der Gestaltung forstlicher Bewirtschaftungsstandards. Über die Zertifizierung können über gesetzliche Mindestanforderungen hinausgehende ökologische Zielsetzungen des Waldeigentümers unterstützt und belegt werden. In Deutschland existieren zurzeit drei forstliche Zertifizierungssysteme nebeneinander: PEFC, FSC und Naturland. Diese berücksichtigen in unterschiedlicher Weise naturschutzfachlich relevante Kriterien. Die Zertifizierung von Waldflächen aller Besitzarten nach den hohen Qualitätsstandards von Naturland und FSC sowie von PEFC schreitet weiter voran.

Ende 2004 sind in Deutschland knapp 70 % der Waldfläche zertifiziert: 7 Millionen ha nach den Kriterien des „Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes“ (PEFC), 500 000 ha nach denen des „Forest Stewardship Council“ (FSC) und rd. 60 000 ha nach Naturland-Kriterien (Tab. VIII 3.3-1). Mit der Zertifizierung nach einem anspruchsvollen Zertifizierungssystem wie z.B. Naturland oder FSC dokumentieren die Waldbesitzer ihre Bereitschaft, bei der Bewirtschaftung ihrer Flächen Erfordernisse der Nachhaltigkeit sowie des Natur- und Artenschutzes über den gesetzlich vorgegebenen Standard hinaus zu berücksichtigen.

Tab. VIII 3.3-1: *Zertifizierte Waldflächen in Deutschland*

Fläche in 1 000 ha	1999	2000	2001	2002	2003	2004
PEFC[1)]	570	1 300	1 700	4 800	6 500	7 000
FSC[2)]	–	120	140	260	450	500
Naturland (FSC-Zertifizierung)	–	–	–	56	56	ca. 60

[1)] Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes
[2)] Forest Stewardship Council

Quelle: *Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft 2004 c*

VIII 3.4 Geschützte Gebiete

Die flächenbezogene Unterschutzstellung ist eines der wichtigsten Instrumentarien des Naturschutzes. Die Gebietskategorien sind dabei einerseits aus dem Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) und den Ländernaturschutzgesetzen abgeleitet oder beruhen andererseits auf Verträgen und Konventionen auch im internationalen Kontext.

Deshalb überschneiden sich die Gebiete der verschiedenen Schutzgebietskategorien und Prädikate z. T. in erheblichem Maße oder sind sogar deckungsgleich. Eine Addition der Flächen für die einzelnen Schutzgebietstypen ist daher nicht möglich. Im Biosphärenreservat „Oberlausitzer Heide- und Teichlandschaft“ sind 43,5 % der Gesamtfläche als FFH-Gebiet gemeldet. Der Naturpark Siebengebirge ist gleichzeitig flächenidentisch Naturschutzgebiet und Europadiplomgebiet. Naturparke bestehen unmittelbar aus Naturschutz- und Landschaftsschutzgebieten. Einen Überblick über Daten ausgewählter Schutzgebiete geben die Tabellen VIII 3.4-1 und VIII 3.4-2.

Mit der Novellierung des BNatSchG wird erstmals die Einrichtung eines bundesweiten Biotopverbundsystems, das mindestens 10 % der Landesfläche umfassen soll (§ 3 BNatSchG), gesetzlich vorgeschrieben. Ziel ist es, hiermit einen effektiven Beitrag zum Erhalt der biologischen Vielfalt und zur Sicherung des nationalen Naturerbes zu leisten. Bestandteile dieses Systems sind Nationalparke, nach § 30 BNatSchG gesetzlich geschützte Biotope, Naturschutzgebiete und Biosphärenreservate. Zum Ausbau des länderübergreifenden Biotopverbundes dient auch die Ermittlung weiterer schutzwürdiger Landschaften z.B. in Naturparken sowie solcher, die im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens „Verbreitung und Gefährdung schutzwürdiger Landschaften in Deutschland als eine Grundlage für die Entwicklung eines bundesweiten Biotopverbundsystems“ [1] ermittelt wurden.

Die Identifizierung schutzwürdiger Landschaften liefert eine wichtige Grundlage für die politische Umsetzung eines Biotopverbundes in Deutschland. Bund und Länder werden hiermit in die Lage versetzt, wirkungsvolle Maßnahmen zum Schutz der Landschaften im Rahmen einer nachhaltigen Regionalentwicklung einzuleiten.

[1] Gharadjedaghi, B., Heimann, R., Lenz, K., Martin, Ch., Pieper, V., Schulz, A., Vahabzadeh, A., Finck, P. & Riecken, U. (2004). Verbreitung und Gefährdung schutzwürdiger Landschaften in Deutschland. – Natur und Landschaft 79 (2): 71–81.

Tab. VIII 3.4-1: *Ausgewählte Schutzgebiete und Prädikatsgebiete in Deutschland*

Schutzgebietskategorie/Prädikat	Typ	Anzahl	Fläche [ha]	Anteil an der Landesfläche [%] [1]	Stand
Naturschutzgebiet	§ 23	7 278	1 047 363 [2]	2,9	31.12.2003
Nationalpark	§ 24	15	194 136 [2] (962 048)	0,54 (2,7) [3]	2/2004
Biosphärenreservat	§ 25	14	1 071 225 [2] (1 579 828)	3,0 (4,4) [3]	2/2004
Landschaftsschutzgebiet [4]	§ 26	7 187	10 601 045 [2]	29,7	31.12.2003
Naturpark	§ 27	87	7 985 511 [2]	22,4	31.01.2004
FFH-Gebiet nach 92/43/EWG	§ 32, 33	4 484	4 120 824 (1 029 120) [5]	8,7	31.12.2004
Vogelschutzgebiet nach 79/409/EWG	§ 32, 33	511	3 729 945 (1 169 540) [5]	7,2	31.12.2004
Feuchtgebiet internationaler Bedeutung (Ramsar-Konv.)	Konvention	32	841 000	2,3	3/2004
Europadiplomgebiet	ER	8	103 876	0,3	2/2004
Europareservat [6]	NRO	20	268 408	0,8 [3]	2/2004
IBA (Important Bird Area) [7]	NRO	542	7 938 851 (5 650 907) [2]	15,8	01.07.2002
Naturwaldreservate (NWR)	Unterschiedlich (siehe Text)	824	30 587	0,085	2/2004

[1] Bezug: statistische Landesfläche (ohne Watt- und marine Flächen)
[2] ohne Wasser- und Wattflächen der Nord- und Ostsee
[3] inkl. Wasser- und Wattflächen der Nord- und Ostsee
[4] SL: Stand: 31.12.2001
[5] () – davon Watt-, Wasser-, Bodden- und Meeresflächen (inkl. Bodensee)
[6] seit 1998 keine Neumeldungen
[7] Nach SUDFELDT et al. (2002)
Typ: Schutzgebiete nach BNatSchG mit Angabe des Paragraphen, in dem die Schutzgebietskategorie definiert ist; übrige Gebiete Prädikate des Europarats (ER) und aufgrund von Konventionen bzw. Vorschlagslisten der Naturschutzverbände (Nichtregierungsorganisationen – NRO)

Quelle: *Bundesamt für Naturschutz 2004 a*

Tab. VIII 3.4-2: *Naturschutzgebiete in Deutschland (Stand: 31.12.2003)*

Land	Anzahl ausgewiesener NSG	Fläche [ha]	Flächenanteil an der Landesfläche [%]	Anzahl einstweilig sicher gestellter NSG	Fläche [ha]	Flächenanteil an der Landesfläche [%]
Baden-Württemberg	985	81 003	2,3	0	0	0,00
Bayern	578	156 357	2,2	0	0	0,00
Berlin	35	1 878	2,1	0	0	0,00
Brandenburg [1]	398	176 420	6,0	1	5	0,00
Bremen	17	1 910	4,7	0	0	0,00
Hamburg [2]	28	5 510	7,3	0	0	0,00
Hessen	760	38 805	1,8	5	1 094	0,05
Mecklenburg-Vorpommern [3]	259	68 612	3,0	29	7 985	0,34
Niedersachsen	705	143 045	3,0	0	0	0,00
Nordrhein-Westfalen	2 054	149 356	4,4	2	1 232	0,04
Rheinland-Pfalz	508	36 412	1,8	0	0	0,00
Saarland	102	7 017	2,7	0	0	0,00
Sachsen	214	49 021	2,7	0	0	0,00
Sachsen-Anhalt	198	54 062	2,6	2	1 099	0,05
Schleswig-Holstein [4]	184	43 809	2,8	0	0	0,00
Thüringen	253	34 146	2,1	0	0	0,00
Deutschland	**7 278**	**1 047 363**	**2,9**	**39**	**11 415**	**0,03**

[1] Das NSG „Nationalpark Unteres Odertal“ (10 635 ha) ist mit berücksichtigt, da die betreffende Verordnung nach wie vor Bestand hat.
[2] Ohne Wattenmeer
[3] Bei Hinzurechnung der marinen Landesfläche MV (die nicht zur statistisch erfassten Landesfläche gehört) ergibt sich ein Flächenanteil der NSG von 2,2 % und der einstweilig sichergestellten NSG von 0,26 %.
[4] Die Gesamtfläche der NSG in Schleswig-Holstein beträgt 203 951 ha; darin enthalten sind 160 142 ha Watt- und Wasserflächen, die statistisch nicht zur Landesfläche gehören; zudem sind 151 653 ha Watt- und Wasserflächen gleichzeitig Bestandteil des Nationalparks „Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer“.

Quelle: *Bundesamt für Naturschutz 2004 a*

VIII 3.4.1 Nationale Schutzgebiete [1]

Naturschutzgebiete

Gemäß § 23 Abs.1 BNatSchG sind Naturschutzgebiete (NSG) „rechtsverbindlich festgesetzte Gebiete, in denen ein besonderer Schutz von Natur und Landschaft in ihrer Ganzheit oder in einzelnen Teilen

- zur Erhaltung, Entwicklung oder Wiederherstellung von Biotopen oder Lebensgemeinschaften bestimmter wild lebender Tier- und Pflanzenarten,
- aus wissenschaftlichen, naturgeschichtlichen oder landeskundlichen Gründen oder
- wegen ihrer Seltenheit, besonderen Eigenart oder hervorragenden Schönheit erforderlich ist."

Die Naturschutzgebietsfläche beträgt in Deutschland mit Stand 31.12.2003 1 047 363 ha. Dies entspricht 2,9 % der Gesamtfläche. Gegenüber 1997 ist die Gesamtfläche der Naturschutzgebiete (824 161 ha) um ca. 27 % gestiegen. Aufgrund der vorliegenden Daten über die einstweilig sichergestellten Naturschutzgebiete in fünf Bundesländern ist auf einen zusätzlichen Flächenschutz in Deutschland zu schließen, der in einer Größenordnung von 0,03 % der Gesamtfläche liegt.

Knapp zwei Drittel aller Naturschutzgebiete sind kleiner als 50 ha, nur ca. 14 % umfassen eine Fläche von 200 ha oder mehr. Die durchschnittliche Größe eines NSG liegt bei 144 ha (Datenbasis: Flächen der Naturschutzgebiete ohne die Wasser- und Wattflächen der Nord- und Ostsee). Insgesamt weisen 159 Gebiete eine Fläche von 1 000 ha und mehr auf.

In welchem Maße ein Naturschutzgebiet seine Schutzfunktion erfüllen kann, hängt nicht zuletzt von der Flächengröße ab. Bezüglich der Größe der Naturschutzgebiete bestehen länderspezifische Unterschiede. Im Hügel- und Bergland (z. B. Rheinland-Pfalz, Nordrhein-Westfalen, Hessen und Baden-Württemberg) sowie in Ländern mit geringem Flächenumfang (Saarland, Berlin) erfolgt die Ausweisung von Naturschutzgebieten differenzierter und kleinräumiger, während im norddeutschen Tiefland offensichtlich großflächiger ausgewiesen wird.

Weiterhin können die per Verordnung in den Naturschutzgebieten festgelegten Nutzungsformen die Umsetzung der jeweiligen Naturschutzziele einschränken und qualitative Einschränkungen zur Folge haben. Hierbei handelt es sich insbesondere um verschiedene Formen der Freizeitnutzung, Land- und Forstwirtschaft, Wasserwirtschaft und Verkehr.

Nationalparke

Nationalparke (NLP) sind gemäß § 24 des BNatschG „einheitlich zu schützende Gebiete, die

- großräumig und von besonderer Eigenart sind,
- in einem überwiegenden Teil ihres Gebiets die Voraussetzungen eines Naturschutzgebiets erfüllen und
- sich in einem überwiegenden Teil ihres Gebiets in einem vom Menschen nicht oder wenig beeinflussten Zustand befinden oder geeignet sind, sich in einen Zustand zu entwickeln oder in einen Zustand entwickelt zu werden, der einen möglichst ungestörten Ablauf der Naturvorgänge in ihrer natürlichen Dynamik gewährleistet."

Vorrangiges Ziel der Nationalparke ist der Erhalt und die Zulassung möglichst ungestörter Abläufe der Naturvorgänge in ihrer natürlichen Dynamik. Wirtschaftliche Nutzungen der natürlichen Ressourcen durch Land-, Forst-, Wasserwirtschaft, Jagd oder Fischerei sind dadurch weitgehend ausgeschlossen. Soweit es der jeweilige Schutzzweck erlaubt, sollen Nationalparke wissenschaftlichen Beobachtungen, der naturkundlichen Bildung und dem Naturerlebnis der Bevölkerung dienen.

Die Ausweisung von Nationalparken erfolgt durch die Länder im Benehmen mit dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und dem Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (§ 22 Abs. 4 Satz 2 BNatSchG). Die gesetzliche Grundlage für Nationalparke in Deutschland hat sich mit der Novellierung des BNatSchG Anfang 2002 gegenüber der vorherigen Fassung geändert. Sie ermöglicht nun auch die Ausweisung von so genannten „Entwicklungsnationalparken", bei denen ein vom Menschen nicht oder nur wenig beeinflusster Zustand angestrebt wird. Dadurch wird die Ausweisung neuer Nationalparke in Deutschland erleichtert. Viele der bestehenden Nationalparke sind derzeit noch „Entwicklungs-Nationalparke", d.h. sie erfüllen erst in Teilen die Kriterien ungestörter Naturentwicklung. Durch geeignete Steuerungsmaßnahmen, die in Managementplänen festgelegt sind, sollen die Voraussetzungen geschaffen werden, damit künftig in einem überwiegenden Flächenanteil der Gebiete den natürlichen und dynamischen Abläufen in der Natur Vorrang eingeräumt werden kann. Die Richtlinien der IUCN für Kategorie II (Schutzgebiet, das hauptsächlich zum Schutz von Ökosystemen und zu Erholungszwecken etabliert wird) geben vor, dass mindestens 75 % der Gesamtfläche einem weitgehend naturnahen Zustand entsprechen und keiner dem Schutzzweck entgegenstehenden Nutzung unterliegen dürfen, um auch

nach internationalem Standard als Nationalpark anerkannt zu werden.

Derzeit gibt es in Deutschland 15 Nationalparke. Ihre Gesamtfläche hat sich von 2002 bis 2004 von 947 859 ha auf 962 048 ha vergrößert (Tab. VIII 3.4.1-1). Dies ist insbesondere auf die 2004 erfolgten Neuausweisungen der Nationalparke Eifel (Nordrhein-Westfalen) und Kellerwald-Edersee (Hessen) zurückzuführen. Bezogen auf die statistische Fläche Deutschlands, bei der die marinen Gebiete unberücksichtigt bleiben, entspricht die Gesamtfläche der Nationalparke einem Flächenanteil von ca. 0,6 % des Bundesgebietes. Die Länder Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg verfügen noch nicht über einen Nationalpark.

Trotz der in Mitteleuropa wenigen Reste ursprünglicher Natur, gibt es in Deutschland noch eine Reihe von Gebieten, die sich als Nationalpark eignen. Insbesondere verschiedene Buchenwaldökosysteme, die Hauptbestandteil der natürlichen Vegetation Deutschlands sind, sollten im Schutzgebietssystem Berücksichtigung finden. Mit Blick auf die Verantwortung Deutschlands für den Schutz dieser Ökosysteme sollten weitere Ausweisungen folgen. Durch die Nutzungsaufgabe von militärischen Übungsplätzen können sich hier zusätzliche Möglichkeiten eröffnen.

Landschaftsschutzgebiete

Landschaftsschutzgebiete (LSG) sind rechtsverbindlich festgesetzte Gebiete, in denen nach § 26 Abs.1

Tab. VIII 3.4.1-1: *Nationalparke in Deutschland (Stand: Februar 2004)*

Nationalpark (Bundesland)	Gründungs-jahr	Gesamtfläche [ha]	Vorrangig geschützte Lebensräume
Bayerischer Wald (BY)	1970	24 250	Bergmischwälder, Hochlagenfichtenwälder, Moore, Bergbäche, Blockhalden
Berchtesgaden (BY)	1978	20 808	Alpine Felsschuttfluren, Rasengesellschaften und Gebüsche, subalpine, montane und sub-montane Wälder, Bergwiesen, Seen
Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer (SH)	1985	441 500 davon ca. 97,7 % Wasserfläche[1)]	Wattenmeerökosysteme, Salzwiesen des Vorlandes
Niedersächsisches Wattenmeer (NI)	1986	277 708 davon ca. 91,8 % Wasserfläche[1)]	Wattenmeerökosysteme, Salzwiesen und Dünen der Ostfriesischen Inseln
Hamburgisches Wattenmeer (HH)	1990	13 750 davon ca. 97,1 % Wasserfläche[1)]	Wattenmeer im Mündungsgebiet der Elbe mit starkem Gezeiten- und Brackwassereinfluss
Jasmund (MV)	1990	3 003 davon ca. 22 % Wasserfläche	Buchenwälder auf Kreidestandorten, Kreidesteilküste, küstennahe Ostsee
Hochharz (ST)[2)]	1990	8 900	Hochlagenfichtenwälder, Buchenwälder, Moore, Bergheiden, Blockhalden und Felsformationen
Sächsische Schweiz (SN)	1990	9 292	Fels-Wald-Komplexe, submontane wärme- und trockenheitsliebende Wälder, Schlucht- und Schatthangwälder
Müritz-Nationalpark (MV)	1990	31 878	Kiefern- und Buchenwälder, Erlen- und Birken-bruch, Seen und Moore
Vorpommersche Boddenlandschaft (MV)	1990	80 500 davon ca. 84 % Wasserfläche[1)]	Boddengewässer, Ausgleichsküste mit unterschiedlichen Ausprägungen und Uferlebens-räumen, Wälder
Harz (NI)[2)]	1994	15 800	Hochlagenfichtenwälder, Buchenwälder, Moore, Fließgewässer
Unteres Odertal (BB)	1995	10 635	Flussauenlandschaft, Altarme und -wasser, Ried- und Schilfbestände, Feuchtgrünland
Hainich (TH)	1997	7 600	Laubmisch- und Buchenwälder mittlerer Standorte in unterschiedlichen Sukzessionsstadien, teilweise mit stark differenzierter Altersstruktur
Eifel (NW)	2004	10 700	Atlantisch geprägte, bodensaure Buchenmischwälder, Forste (kollin bis submontan), Quellgebiete, Bachtäler
Kellerwald-Edersee (HE)	2004	5 724	Submontane, bodensaure Buchenwälder, felsig-trockene Steilhänge, naturnahe Fließgewässer, nährstoffarme Waldwiesen
Gesamtfläche mit Nord- und Ostseeflächen[1)]:		962 048 ha	
Gesamtfläche ohne Nord- und Ostseeflächen[1)]:		194 136 ha (ca. 0,54 % des Bundesgebietes)	

[1)] betrifft nur den Wasseranteil, der nicht zur statistisch erfassten Landfläche gehört
[2)] Der Zusammenschluss der Nationalparke Harz (NI) und Hochharz (ST) ist vorgesehen

Quelle: *Bundesamt für Naturschutz 2004 a*

BNatSchG „ein besonderer Schutz von Natur und Landschaft

- zur Erhaltung, Entwicklung oder Wiederherstellung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts oder der Regenerationsfähigkeit und nachhaltigen Nutzungsfähigkeit der Naturgüter,
- wegen der Vielfalt, Eigenart und Schönheit oder der besonderen kulturhistorischen Bedeutung der Landschaft oder
- wegen ihrer besonderen Bedeutung für die Erholung erforderlich ist".

Gegenüber den Naturschutzgebieten handelt es sich hierbei in der Regel um großflächigere Gebiete mit geringeren Nutzungseinschränkungen.

Veränderungsverbote zielen darauf ab, den „Charakter" des Gebietes zu erhalten. Land- und Forstwirtschaft können eingeschränkt werden, sofern sie den Charakter des Gebietes verändern oder dem Schutzzweck zuwiderlaufen.

Es gibt 7 181 Landschaftsschutzgebiete mit einer Gesamtfläche von ca. 10,6 Mio. ha, was ca. 29,7 % des Bundesgebietes entspricht (Stand 31.12.2003) (Tab. VIII 3.4.1-2).

Tab. VIII 3.4.1-2: *Landschaftsschutzgebiete in Deutschland (Stand: 31.12.2003)*

Bundesland	Anzahl	Fläche [ha]	Anteil an der Landesfläche [%]
Baden-Württemberg	1 498	791 372	22,1
Bayern	701	2 058 648	29,2
Berlin	48	10.931	12,3
Brandenburg	112	1 120 786	38,0
Hansestadt Bremen	26	8 043	19,9
Hansestadt Hamburg	42	15 264	20,2
Hessen	147	920 532	43,6
Mecklenburg-Vorpommern [1]	137	642 666	27,7
Niedersachsen	1 436	969 881	20,4
Nordrhein-Westfalen	2 212	1 591 613	46,7
Rheinland-Pfalz [2]	100	551 453	27,8
Saarland [3]	135	101 796	39,6
Sachsen	173	532 220	28,9
Sachsen-Anhalt	74	641 235	31,4
Schleswig-Holstein	282	272 152	17,3
Thüringen	58	372 453	23,0
Deutschland:	**7 181**	**10 601 045**	**29,7**

[1] Reale Landesfläche (inkl. Hoheitsgewässer) MV: 3 090 180 ha; Flächenanteil der LSG's MV dann 20,8 %.
[2] wegen einander vielfach überschneidender LSG-Flächen bietet die Summe der Flächen keinen sicheren Anhaltspunkt für die tatsächliche LSG-Fläche im Land
[3] Stand: 31.12.2001

Quelle: *Bundesamt für Naturschutz 2004 a*

Naturparke

Naturparke (NRP) sind gemäß § 27 BNatSchG „einheitlich zu entwickelnde und zu pflegende Gebiete, die

- großräumig sind,
- überwiegend Landschaftsschutzgebiete oder Naturschutzgebiete sind,
- sich wegen ihrer landschaftlichen Voraussetzungen für die Erholung besonders eignen und in denen ein nachhaltiger Tourismus angestrebt wird,
- nach den Erfordernissen der Raumordnung für die Erholung vorgesehen sind,
- der Erhaltung, Entwicklung oder Wiederherstellung einer durch vielfältige Nutzung geprägten Landschaft und ihrer Arten- und Biotopvielfalt dienen und in denen zu diesem Zweck eine dauerhaft umweltgerechte Landnutzung angestrebt wird,
- besonders dazu geeignet sind, eine nachhaltige Regionalentwicklung zu fördern."

Gemäß den rahmenrechtlichen Vorgaben, nach denen Naturparke überwiegend Landschaftsschutzgebiete oder Naturschutzgebiete sein müssen, erfüllen sie neben der Erholungsfunktion auch eine Schutzfunktion. Die Schutzintensität wird bei Fehlen anderweitiger landesrechtlicher Regelungen durch die Schutzgebietsverordnungen der Naturschutzgebiete und Landschaftsschutzgebiete festgelegt, aus denen der Naturpark besteht. In den Ländern bestehen unterschiedliche Schwerpunktsetzungen in den Naturpark-Konzepten und Naturparksatzungen. Mit der Naturparkausweisung ist eine z. T. großflächige ökologische Aufwertung möglich.

Aufgrund ihrer Zielsetzung, den Schutz und die Nutzung der Kulturlandschaften miteinander zu verbinden, nehmen die Naturparke verstärkt Funktionen im Rahmen einer integrierten nachhaltigen Entwicklung von Regionen wahr. Speziell für den Tourismus in Schutzgebieten wurde auf europäischer Ebene eine Charta entwickelt. Die Relevanz dieser europäischen Charta für die deutschen Naturparke wurde in drei Modellparken (Frankenwald, Steinhuder Meer und Insel Usedom) in einem 2001/2002 abgeschlossenen Projekt „Die europäische Charta für nachhaltigen Tourismus in Schutzgebieten – Aufgabe und Chance für die deutschen Naturparke" beispielhaft erprobt.

Die 87 in Deutschland bestehenden Naturparke umfassen eine Gesamtfläche von fast 8 Mio. ha (ca. 22,4 % der Gesamtfläche Deutschlands) (Stand

31.12.2004) (Tab. VIII 3.4.1-3). Mehrere Naturparke befinden sich im Verordnungsverfahren.

Tab. VIII 3.4.1-3: *Naturparke in den Bundesländern (Stand: 31.01.2004)*

Bundesland	Anzahl	Fläche [ha]	Anteil an der Landesfläche [%]
Baden-Württemberg	7	1 060 695	29,7
Bayern	16	2 054 615	29,1
Berlin	1	4 008	4,5
Brandenburg	11	711 627	24,1
Bremen	0	0	0,0
Hamburg	0	0	0,0
Hessen	10	660 179	31,3
Mecklenburg-Vorpommern	5	245 000	10,6
Niedersachsen	12	794 186	16,7
Nordrhein-Westfalen	14	1 002 584	29,4
Rheinland-Pfalz	6	425 510	21,4
Saarland	1	129 669	50,5
Sachsen	2	185 500	10,1
Sachsen-Anhalt	4	307 738	15,0
Schleswig-Holstein	5	196 000	12,5
Thüringen	1	208 200	12,9
Deutschland	**95** [1)]	**7 985 511**	**22,4**

[1)] Die Gesamtzahl der Naturparke beträgt 87; davon liegen 8 länderübergreifend in zwei Bundesländern

Quelle: *Bundesamt für Naturschutz 2004*

Der Flächenanteil an Naturparken hat innerhalb von sechs Jahren (1998–2004) um 20 % zugenommen (dies entspricht ca. 1,3 Mio. ha). Innerhalb der Naturparke liegt der Flächenanteil der Schutzgebiete bei ca. 60,8 %. Der durchschnittliche Anteil an Naturschutzgebieten ist in den ostdeutschen Naturparken mit ca. 9,1 % gegenüber den westdeutschen Naturparken (ca. 3,0 %) deutlich höher. Die staatliche Trägerschaft vieler ostdeutscher Naturparke kann raumplanerische und naturschutzfachliche Vorteile gegenüber einer nichtstaatlichen Organisationsform mit sich bringen.

Naturwaldreservate

Naturwaldreservate (NWR) sind Waldgebiete, die der ungestörten Entwicklung überlassen werden. In den von jeglicher forstlichen Nutzung und sonstigen Eingriffen ausgenommenen Waldflächen sollen sich so „Urwälder von morgen“ entwickeln.

Naturwaldreservate eignen sich besonders zur Erforschung der natürlichen Lebensabläufe im Wald. Als unbeeinflusste Vergleichsbestände zu Wirtschaftswäldern sind sie zugleich Indikatorflächen für „Naturnähe“, in denen die natürlichen Prozesse von Alterung, Zerfall und Regeneration (Verjüngung) langfristig beobachtet werden können. Für die langfristige Umwandlung der umgebenden, oft weniger naturnahen Bestände zu naturnahen Wäldern sind solche Flächen mit hoher biologischer Vielfalt und typischem Arteninventar wichtige „Keimzellen“ für eine Neu- und Wiederbesiedlung. Gleichzeitig stellen sie im Rahmen einer umfassenden Umweltbeobachtung Referenzgebiete zu den vom Menschen stark beeinflussten Ökosystemen dar. Zusammen mit Nationalparken und den Kernzonen in Biosphärenreservaten sind sie Bestandteil eines internationalen Systems von strengen Waldschutzgebieten. Viele von ihnen sind als Teile von FFH- und Vogelschutzgebieten in das europäische Natura 2000-Gebietsnetz einbezogen.

Mit der systematischen Ausweisung von Naturwaldreservaten wurde anlässlich des europäischen Naturschutzjahres 1970 begonnen. Ziel ist der Aufbau eines repräsentativen Systems von ungenutzten Waldgebieten, welches sich an den standortheimischen (natürlichen) Waldgesellschaften und an einer räumlich ausgewogenen Verteilung der Reservate auf alle forstlichen Wuchsgebiete orientiert. Da Deutschland von Natur aus größtenteils von Buchen- und Buchenmischwäldern bedeckt wäre, beinhalten auch mehr als 50 % aller einer Waldgesellschaft zugeordneten Naturwaldreservate diese oft sehr unterschiedlich ausgeprägten Waldgesellschaften.

1989 waren im früheren Bundesgebiet 420 Naturwaldreservate (mit 9 670 ha Fläche) und in der ehemaligen DDR 143 Gebiete (mit 4 870 ha Fläche) ausgewiesen. Die Anzahl der Naturwaldreservate ist seit 1989 von 563 (mit ca. 14 540 ha Fläche) auf insgesamt 824 Gebiete (mit ca. 30 587 ha Fläche) gestiegen (Tab. VIII 3.4.1-4). In den westdeutschen Bundesländern wurden seit 1989 233 Naturwaldreservate neu ausgewiesen. In den ostdeutschen Bundesländern (seit 1989 Neuausweisung von 28 Reservaten) wie auch in einigen westdeutschen Bundesländern ist die Ausweisung noch nicht abgeschlossen. In den neuen Ländern sind auch noch ältere Totalreservate berücksichtigt. Hier muss noch überprüft werden, ob sie den Anforderungen für Naturwaldreservate genügen.

Die Naturwaldreservate sind in den einzelnen Bundesländern rechtlich unterschiedlich gesichert: nach Landesforst- oder Landesnaturschutzrecht, durch Eigenbindung der Forstverwaltungen oder auf langfristiger Vertragsbasis. Entsprechend werden Naturwaldreservate in den einzelnen Bundesländern auch unterschiedlich bezeichnet: als Naturwaldparzellen, Naturwälder, Naturwaldzellen, Bannwälder, Naturwaldreservate oder Schutzwald.

Tab. VIII 3.4.1-4: *Anzahl und Flächenanteil der Naturwaldreservate in Deutschland (Stand: Dezember 2001, mit Nachmeldungen der Länder bis Februar 2004)*

Bundesland	Verteilung nach Größenklassen [ha]						mittlere Fläche [ha]	Anzahl	Gesamtfläche [ha]	Waldfläche gesamt [1 000 ha]	Anteil der NWR an der Waldfläche [%]	Schutzstatus (s.u.)
	< 5	5–0	10–20	20–50	50–100	> 100						
BW	6	6	23	18	27	22	60,9	102	6 215	1 345	0,46	a), b)
BY	2	9	27	73	29	10	42,1	150	6 316	2 411	0,26	a), b)
BB	4	5	14	12	4	2	29,4	41	1 206	1 093	0,11	a), b)
HH	0	2	1	1	0	0	12,8	4	51	4,5	1,13	a), b)
HE	0	2	4	18	3	3	40,9	30	1 228	840	0,15	a), b)
MV	1	6	8	5	5	6	50,3	31	1 559	497	0,31	a), b), c)
NI	4	5	26	39	24	6	42,3	104	4 399	1 070	0,41	a), c)
NW	4	13	36	15	4	1	19,6	73	1 429	916	0,16	a), b), d)
RP	6	12	5	25	9	3	33,9	60	2 035	805	0,25	a), b), c)
SL	0	1	2	4	3	1	68,3	11	751	90	0,83	a), b)
SN [1)]	1	3	3	11	3	1	36,2	22	797	513	0,16	a), b)
ST	0	2	3	16	6	2	66,3	29	1 923	474	0,41	a), b)
SH	37	30	30	16	5	1	13,6	119	1 614	152	1,06	a), b), c)
TH	9	10	16	7	4	2	22,2	48	1 064	515	0,21	a), b)
Summe bzw. Mittelwert	**74**	**106**	**198**	**260**	**126**	**60**	**37,1**	**824**	**30 587**	**10 726**	**0,29**	

[1)] ohne Nationalpark Sächsische Schweiz

a) nach Landesnaturschutzgesetzen
b) nach Landeswaldgesetzen
c) Eigenbindung der Forstverwaltungen
d) Vertragsbasis

Bezeichnung der NWR in den Ländern: BW: Bannwälder; SH, NW, SL, SN, ST: Naturwaldzellen; NI, BB: Naturwälder; TH: Naturwaldparzellen; BY, HE, MV, RP: Naturwaldreservate; HH: Schutzwald

Quelle: *Bundesamt für Naturschutz 2004 a*

Für die Buchen- und Buchenmischwälder werden Mindestflächengrößen von ca. 50 ha angestrebt, doch werden diese Flächengrößen bisher nur in ca. 20 % der Fälle erreicht.

In manchen Bundesländern werden Naturwaldreservate als kleinere spezielle Forschungsflächen innerhalb größerer, vor menschlichen Eingriffen geschützter Areale („Totalreservate") ausgewiesen (z.B. Brandenburg und Sachsen). Teilweise liegen die Naturwaldreservate in Nationalparken und Kernflächen von Biosphärenreservaten.

Neben räumlichen Defiziten im System (Pfälzer Wald, Buntsandstein-Schwarzwald) hat sich gezeigt, dass etliche Naturwaldflächen auf edaphischen Extremstandorten stocken, andere stark vom Menschen geprägte Waldgesellschaften beinhalten und vielfach zu klein sind. So ist fast die Hälfte (46 %) aller Naturwaldreservate kleiner als 20 ha. Damit sind die Randeffekte durch die umgebende Nutzung oft so groß, dass es kaum unbeeinträchtigte Bereiche innerhalb der Grenzen des Naturwaldreservates gibt. Anzustreben sind daher ausreichend große Gebiete, in denen natürliche Prozesse ungestört ablaufen und sich so naturnahe Verhältnisse einstellen können.

[1] Bundesamt für Naturschutz (2004): Daten zur Natur 2004; Münster (Landwirtschaftsverlag).

VIII 3.4.2 Internationale Schutzgebiete

Biosphärenreservate

Biosphärenreservate sind nach § 25 BNatSchG „einheitlich zu schützende und zu entwickelnde Gebiete, die

- großräumig und für bestimmte Landschaftstypen charakteristisch sind,
- in wesentlichen Teilen ihres Gebiets die Voraussetzungen eines Naturschutzgebiets, im Übrigen überwiegend eines Landschaftsschutzgebiets erfüllen,
- vornehmlich der Erhaltung, Entwicklung oder Wiederherstellung einer durch hergebrachte vielfältige Nutzung geprägte Landschaft und der darin historisch gewachsenen Arten- und Biotopvielfalt, einschließlich Wild- und früherer Kulturformen wirtschaftlich genutzter oder nutzbarer Tier- und Pflanzenarten, dienen und
- beispielhaft der Entwicklung und Erprobung von die Naturgüter besonders schonenden Wirtschaftsweisen dienen."

Biosphärenreservate nach nationalem Recht sind nicht zu verwechseln mit UNESCO-Biosphärenreservaten. Seit 1976 werden Biosphärenreservate von der UNESCO im Rahmen des internationalen Pro-

gramms „Der Mensch und die Biosphäre“ (MAB) anerkannt. Das internationale Prädikat Biosphärenreservat wird auf der Grundlage des „Statutory Framework of the World Network of Biosphere Reserves (UNESCO 1995, 1996) verliehen. Ziel der Biosphärenreservate ist es, Konzepte eines harmonischen Miteinanders von Mensch und Natur im Sinne einer ökologisch, ökonomisch und soziokulturell tragfähigen Entwicklung zu konzipieren, zu erproben und dauerhaft umzusetzen. Das weltweite Netz der UNESCO-Biosphärenreservate setzt sich aus 440 Gebieten in 97 Staaten zusammen (Stand: Januar 2004).

Biosphärenreservate dienen

- dem Schutz natürlicher bzw. naturnaher Ökosysteme in den Kernzonen, die als streng geschützte Gebiete ganz der natürlichen Dynamik überlassen bleiben,
- der Pflege und Entwicklung von Kulturlandschaften mit nutzungsbedingter biologischer und landschaftlicher Vielfalt,
- der modellhaften Entwicklung ökologisch, ökonomisch und soziokulturell verträglicher Landnutzungsmodelle, die den ansässigen Menschen dauerhafte Lebensgrundlage gewähren und die Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes bewahren,
- der Etablierung nachhaltiger Lebens- und Wirtschaftweisen,
- der ökosystemaren Forschung und der Ökologischen Umweltbeobachtung,
- der Umweltbildung und Öffentlichkeitsarbeit.

Biosphärenreservate tragen damit in ihrer Funktion als Modelllandschaften für eine nachhaltige Entwicklung beispielhaft zur nationalen Umsetzung der Agenda 21 und des Übereinkommens über die biologische Vielfalt bei.

In Deutschland hat die UNESCO bislang 14 Biosphärenreservate mit einer Gesamtfläche von 1 579 828 ha anerkannt (Tab. VIII 3.4.2-1). Zur Umsetzung der verschiedenen Ziele sind Biosphärenreservate räumlich in drei Zonen gegliedert:

In der Kernzone eines Biosphärenreservates, die aus mehreren Teilflächen bestehen kann, soll sich die Natur vom Menschen möglichst unbeeinflusst entwickeln. Der Schutz natürlicher oder naturnaher Ökosysteme genießt hier höchste Priorität.

Tab. VIII 3.4.2-1: *UNESCO-Biosphärenreservate in Deutschland (Stand: Februar 2004)*

Biosphärenreservat (Bundesland)	Größe [ha]				Anerkennung
	Gesamt	Kernzone	Pflegezone	Entwicklungszone	
Vessertal-Thüringer Wald (TH)	17 098	437 (2,6 %)	2 024 (11,8 %)	14 637 (85,6 %)	1979
Bayerischer Wald [1] (BY)	13 329	10 224 (76,7 %)	3 105 (23,3 %)	–	1981
Schorfheide-Chorin (BB)	129 161	3 648 (2,8 %)	24 103 (18,7 %)	101 410 (78,5 %)	1990
Berchtesgaden [1] (BY)	46 742	13 896 (29,7 %)	6 948 (14,9 %)	25 898 (55,4 %)	1990
Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer [1] (SH)	285 000	85 500 (30,0 %)	199 500 (70 %)	–	1990
Rhön (BY, HE, TH)	184 939	4.199 (2,3 %)	67 483 (36,5 %)	113 257 (61,2 %)	1991
Spreewald (BB)	47 509	974 (2,1 %)	9 334 (19,6 %)	37 201 (78,3 %)	1991
Südost-Rügen (MV)	23 500	349 (1,5 %)	3 204 (13,6 %)	19 947 (84,9 %)	1991
Pfälzerwald (RP)	177 000	3 739 (2,1%)	49 261 (27,8 %)	124 000 (70,1 %)	1992
Niedersächsisches Wattenmeer [1] (NI)	240 000	130 000 (54,2 %)	108 000 (45,0 %)	2 000 (0,8 %)	1992
Hamburgisches Wattenmeer [1] (HH)	11 700	10 530 (90,0 %)	1 170 (10,0 %)	–	1992
Oberlausitzer Heide- und Teichlandschaft (SN)	30 102	1 124 (3,7 %)	12 015 (39,9 %)	16 963 (56,4 %)	1996
Flusslandschaft Elbe (BB, MV, NI, SH, ST)	342 848	7 220 (2,1 %)	61 726 (18,0 %)	273 902 (79,9%)	1997
Schaalsee (MV)	30 900	1 709 (5,5 %)	7 905 (25,6 %)	21 286 (68,9 %)	2000
Summe	**1 579 828**	**273 549**	**555 778**	**750 501**	

[1] gleichzeitig Nationalpark

Quelle: *Bundesamt für Naturschutz 2004 b*

Die Pflegezone dient der Erhaltung und Pflege von Ökosystemen, die durch menschliche Nutzung entstanden oder beeinflusst sind. Die Pflegezone soll die Kernzone vor Beeinträchtigungen abschirmen. Ziel ist vor allem, Kulturlandschaften zu erhalten, die ein breites Spektrum verschiedener Lebensräume für eine Vielzahl naturraumtypischer, z. T. auch bedrohter Tier- und Pflanzenarten umfassen.

Die Entwicklungszone ist Lebens-, Wirtschafts- und Erholungsraum der Bevölkerung. Ziel ist die Entwicklung einer Wirtschaftsweise, die den Ansprüchen von Mensch und Natur gleichermaßen gerecht wird (Definitionen nach LANA 1994 in AGBR 1995).

Nach den „Internationalen Leitlinien für das Weltnetz der Biosphärenreservate“ soll der Zustand eines jeden Biosphärenreservats in einem zehnjährigen Turnus durch die jeweilige nationale Beratungs- und Koordinierungsstelle (in Deutschland das MAB-Nationalkomitee) überprüft werden. 2001 wurden die Biosphärenreservate Mittlere Elbe, Bayerischer Wald und Vessertal-Thüringer Wald, 2002 die Biosphärenreservate Schorfheide-Chorin, Berchtesgaden und Spreewald sowie 2003 die Biosphärenreservate Südost-Rügen, Pfälzerwald und Rhön überprüft.

Das deutsche MAB-Nationalkomitee bescheinigte den 14 deutschen Biosphärenreservaten Fortschritte und effiziente Arbeit. Folgende Optimierungserfordernisse können benannt werden:

- intensivere Kommunikation des Biosphärenreservat-Konzeptes; Stärkung der Identifikation der örtlichen Bevölkerung mit „ihrem“ Biosphärenreservat,
- verstärkte Förderung der nachhaltigen Regionalentwicklung sowie Förderung und Bündelung der Forschung in den Biosphärenreservaten.

Biosphärenreservate eignen sich besonders, um nachhaltige Landnutzungskonzepte sowie regionale Vermarktungsstrukturen für nachhaltig erzeugte Produkte zu etablieren. So trägt z.B. im Biosphärenreservat Rhön die Vermarktung regionaler Produkte wie Rhönschaf, alter Apfelsorten und Biosphärenrind zur Erhaltung der artenreichen Kulturlandschaft bei. Im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin beträgt der Anteil des Ökologischen Landbaus mittlerweile 25 %. Im Biosphärenreservat Rhön werden 10,6 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche ökologisch bewirtschaftet (Anteil der ökologisch bewirtschafteten Fläche in Deutschland: 4,5 % im Jahr 2004) [1].

Feuchtgebiete internationaler Bedeutung für Wat- und Wasservögel in Deutschland („Ramsar-Gebiete“)

Die Mitgliedstaaten der Ramsar-Konvention verpflichten sich zur Erhaltung und Förderung von Feuchtgebieten als Voraussetzung für arten- und individuenreiche Pflanzen- und Tiergesellschaften in diesen Lebensräumen. Die in Deutschland benannten „Ramsar-Gebiete“ wurden nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- regelmäßiger Aufenthalt von 1 % und mehr der Individuen einer Population einer Wat- oder Wasservogelart,
- regelmäßiger Aufenthalt von 20 000 Wat- oder Wasservögeln oder
- größere Anzahl bestandsbedrohter Tier- und Pflanzenarten.

Weitere Kriterien sind:

- besonderer Wert für die Erhaltung genetischer oder ökologischer Vielfalt oder
- Habitat von Pflanzen und aquatisch sowie terrestrisch lebender Tiere mit wissenschaftlicher und ökonomischer Bedeutung.

In Deutschland sind 32[1] Gebiete mit einer Gesamtfläche von 841 000 ha gemeldet (Tab. VIII 3.4.2-2) [1]. Davon sind mehr als 80 % Watt- und Wasserflächen der Nord- und Ostsee. Durchschnittlich 40 % dieser Gesamtfläche sind als Naturschutzgebiet oder Nationalpark unter Schutz gestellt. Die Ausweisung des Oberrheins und eine Erweiterung des Lech-Donau-Winkels sind geplant. Die Fläche des Mühlenberger Loches an der Unterelbe verringerte sich wegen Baus einer Industrieanlage um 95 ha.

Vogelschutzgebiete gemäß Art. 4 der EG-Vogelschutzrichtlinie

Am 2.4.1979 erließ der Rat der Europäischen Gemeinschaften die Richtlinie über die Erhaltung der wild lebenden Vogelarten (Vogelschutzrichtlinie, 79/409/EWG). Abgesehen von den Regelungen des direkten menschlichen Zugriffes, einschließlich der Jagd, auf die in den drei Anhängen aufgelisteten schutzbedürftigen Vogelarten, werden Schutzmaßnahmen vorgeschrieben, die auf die Erhaltung, Wiederherstellung und Neuschaffung von Lebensstätten sowie auf die Einrichtung von besonderen Schutzgebieten für bestimmte Vogelarten nach Anhang I der oben genannten Richtlinie und für regelmäßig auftretende Zugvogelarten abzielen. Seit Verabschiedung der FFH-Richtlinie sind auf die Europäischen

[1] Die bislang als ein Gebiet gemeldeten drei Teilflächen des Niedersächsischen Wattenmeeres werden den internationalen Vorgaben entsprechend nun einzeln gezählt.

Tab. VIII 3.4.2-2: *Feuchtgebiete internationaler Bedeutung in Deutschland (Stand: Januar 2004)*

Nr.	Gebietsname	Fläche [ha]	Land	Anmeldung
1	Wattenmeer, Elbe-Weser-Dreieck	38 460	NI	26.02.1976
2	Wattenmeer, Jadebusen und westliche Wesermündung	49 490	NI	26.02.1976
3	Wattenmeer, Ostfriesisches Wattenmeer mit Dollart	121 620	NI	26.02.1976
4	Niederelbe zwischen Barnkrug und Otterndorf	11 760	NI	26.02.1976
5	Elbaue zwischen Schnakenburg und Lauenburg	7 560	NI	26.02.1976
6	Dümmer	3 600	NI	26.02.1976
7	Diepholzer Moorniederung	15 060	NI	26.02.1976
8	Steinhuder Meer	5 730	NI	26.02.1976
9	Unterer Niederrhein	25 000	NW	28.10.1983
10	Rieselfelder Münster	233	NW	28.10.1983
11	Weserstaustufe Schlüsselburg	1 600	NW	28.10.1983
12	Rhein zwischen Eltville und Bingen	475	HE/RP	26.02.1976
13a	Bodensee: Wollmatinger Ried – Giehrenmoos	767	BW	26.02.1976
13b	Bodensee: Mindelsee bei Radolfzell	310	BW	26.02.1976
14	Donauauen und Donaumoos	8 000	BY	26.02.1976
15	Lech-Donau-Winkel	230	BY	26.02.1976
16	Ismaninger Speichersee mit Fischteichen	955	BY	26.02.1976
17	Ammersee	6 517	BY	26.02.1976
18	Starnberger See	5 720	BY	26.02.1976
19	Chiemsee	8 660	BY	26.02.1976
20	Unterer Inn zwischen Haiming und Neuhaus	1 955	BY	26.02.1976
21	Boddengewässer Ostufer Zingst, Westküste Rügen-Hiddensee	25 800	MV	31.07.1978
22	Krakower Obersee	868	MV	31.07.1978
23	Ostufer der Müritz	4 832	MV	31.07.1978
24	Galenbecker See	1 015	MV	31.07.1978
25	Unteres Odertal bei Schwedt	5 400	BB	31.07.1978
26	Niederung der Unteren Havel/Gülper See/Schollener See	8 920	BB/ST	31.07.1978
27	Teichgebiet Peitz	1 060	BB	31.07.1978
28	Helmestausee Berga-Kelbra	1 453	ST/TH	31.07.1978
29	Nationalpark Hamburgisches Wattenmeer	13 750	HH	01.08.1990
30	Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer	299 000	SH	15.11.1991
31	Mühlenberger Loch	580	HH	09.06.1992
32	Aland-Elbe-Niederung und Elbaue Jerichow	8 605	ST	21.02.2003

Quelle: *Bundesamt für Naturschutz 2004*

Vogelschutzgebiete die Schutzbestimmungen des Art. 6, Abs. 2,3 und 4 der FFH-Richtlinie anzuwenden. Sie treten anstelle der Schutzbestimmungen des Art. 4 Abs. 4 der Vogelschutzrichtlinie.

Für Deutschland waren bis Ende 2004 insgesamt 511 Vogelschutzgebiete (Special Protected Areas, SPA) von den Ländern bzw. zwei Vogelschutzgebiete in der Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) vom Bund nach der EG-Richtlinie für den Vogelschutz angemeldet. Die Meldung ist noch nicht in allen Bundesländern abgeschlossen, so dass die Meldeübersichtstabelle mit Einschränkungen zu interpretieren ist. Mit Stand 31.12.2004 sind demnach 511 Gebiete mit einer Gesamtfläche von ca. 2,56 Mio. ha (ca. 7,2 % der Landesfläche) zuzüglich ca. 1,17 Mio. ha Watt- und Meeresflächen gemeldet (Tab. VIII 3.4.2-3). Aufgrund der unvollständigen Umsetzung der Vogelschutzrichtlinie läuft ein Vertragsverletzungsverfahren gegen Deutschland.

Viele Vogelschutzgebiete beherbergen Schutzgüter (Lebensraumtypen und Arten), die nach der FFH-Richtlinie geschützt sind und qualifizieren sich dadurch gleichzeitig als FFH-Gebiet.

Der überwiegende Teil der von den Ländern gemeldeten Vogelschutzgebiete besonderer Bedeutung ist ganz oder teilweise gemäß einer Schutzkategorie des Bundesnaturschutzgesetzes (NSG, LSG, NLP, NRP) geschützt. Das anzustrebende Entwicklungsziel für diese Gebiete soll also nicht ausschließlich eine strenge Unterschutzstellung als Naturschutzgebiet sein, da gegebenenfalls auch die Ausweisung als Landschaftsschutzgebiet oder die Beibehaltung oder Änderung der Landbewirtschaftung durch den Menschen für die Erhaltung von Vogelarten förderlich sein kann.

Schutzgebiete nach der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie

Mit Verabschiedung der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie der Europäischen Gemeinschaft (FFH-Richtlinie, 92/43 EWG) im Jahr 1992 ist die erste umfassende europäische Grundlage im Arten- und Biotopschutz geschaffen worden. Das Ziel der FFH-Richtlinie ist die Erhaltung der biologischen Vielfalt im Geltungsbereich der Europäischen Union (derzeit 25 Mitgliedstaaten einschließlich der Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) im marinen Bereich bis zur 200-Seemeilengrenze). Zu diesem Zweck heißt es in

Tab. VIII 3.4.2-3: *Stand der Gebietsmeldungen zur Vogelschutzrichtlinie in Deutschland (Stand: 31.12.2004)*

Bundesland	Anzahl der Vogelschutz-Gebiete	Gesamtfläche der Vogelschutz-gebiete [ha]	Anteil an der Landes-fläche [1] [%]
Baden-Württemberg	73	174 149 (+5 624) [2]	4,9
Bayern	83	545 179	7,7
Berlin	5	4 979	5,6
Brandenburg	12	242 542	8,2
Bremen	8	7 120	17,6
Hamburg	7	2 265 (+12 015) [2]	3,0
Hessen	60	311 096	14,7
Mecklenburg-Vorpommern	15	272 032 (+157 386) [2]	11,7
Niedersachsen	60	288 068 (+246 796) [3]	6,1
Nordrhein-Westfalen	25	153 190	4,5
Rheinland-Pfalz	50	162 682	8,2
Saarland	15	12 184	4,7
Sachsen	10	78 282	4,3
Sachsen-Anhalt	32	170 612	8,3
Schleswig-Holstein	45	91 000 (+747 719) [2]	5,8
Thüringen	11	45 025	2,8
Deutschland ohne AWZ	**511**	**2 560 405 (+1 169 540)** [2,3]	**7,2**

[1] Meldeanteil bezogen auf die Landfläche des jeweiligen Bundeslandes gemäß Statistischem Jahrbuch (1999)
[2] plus Watt-, Wasser-, Bodden- und Meeresflächen nach Angaben des jeweiligen Bundeslandes
[3] plus Watt-, Wasser- und Meeresflächen nach Berechnungen des BfN

Quelle: *Bundesamt für Naturschutz 2004 c*

Art. 2 (2), dass ein „günstige(r) Erhaltungszustand der natürlichen Lebensräume und wild lebenden Tier- und Pflanzenarten von gemeinschaftlichem Interesse zu bewahren oder wiederherzustellen“ ist. Dazu wird ein „kohärentes ökologisches Netz“ mit dem Namen „Natura 2000“ aufgebaut, das in repräsentativer Weise die aus gemeinschaftlicher Sicht besonders schutzwürdigen Lebensräume und Arten erhalten und gegebenenfalls entwickeln soll (Tab. VIII 3.4.2-4).

In der FFH-Richtlinie sind insgesamt für die Europäische Union 218 Lebensraumtypen (Anhang I, davon 91 in Deutschland) und 873 Arten (Anhang II, davon 134 in Deutschland, wovon 19 als ausgestorben oder verschollen gelten) von gemeinschaftlichem Interesse genannt, für die ein System vernetzter Schutzgebiete eingerichtet werden muss. Die Anhänge werden regelmäßig an den wissenschaftlichen Fortschritt z.B. im Rahmen der EU-Erweiterung angepasst, zuletzt durch den Beitritt der 10 neuen EU-Mitgliedstaaten (Osterweiterung) im Mai 2004. Für eine Gebietsmeldung sind Datenumfang und Formate in Form eines Standarddatenbogens (97/266/EG) geregelt, auch eine Meldekarte ist vorgeschrieben. Erstmals wird damit für die 91 in Deutschland vorkommenden Biotoptypen oder -komplexe gem. Anhang I der Lebensraumschutz in den Vordergrund der Schutzbemühungen im europäischen Naturschutz gestellt.

Neben dem Lebensraumschutz (Art. 3–10) enthält die FFH-Richtlinie eine Reihe besonderer Artenschutzregelungen (Art. 12–16) sowie verschiedene weiterführende Bestimmungen im Sinne eines anspruchsvollen Naturschutzinstrumentariums:

- Vorgabe rein naturschutzfachlicher Kriterien zur Gebietsauswahl und Gebietsbewertung (Anhang III),
- Berichtspflichten im Sinne einer Wirkungskontrolle (Erfolgskontrolle) alle sechs Jahre gem. Art. 17,
- eine allgemeine Monitoring-Verpflichtung für die natürlichen Lebensräume und wild lebenden Arten von gemeinschaftlichem Interesse (Art. 11),
- Bestimmungen zum Biotopverbund (verbindende Landschaftselemente, Art. 10),
- eine Forschungsförderung (Art. 18),
- besondere Regelungen zur Verträglichkeitsprüfung von Plänen und Projekten (mit genau geregelten Ausnahmen, Art. 6 (3)+(4), im Falle von negativen Auswirkungen,
- Regelungen zur Finanzierung (Art. 8),
- begleitender Fachausschuss (Habitatausschuss, Wissenschaftliche Arbeitsgruppe).

Im Gegensatz zu den „klassischen“ Naturschutzinstrumenten des Gebietsschutzes in Deutschland (z.B. Naturschutzgebiete) schützt die FFH-Richtlinie die gelisteten Lebensraumtypen und Arten der Anhänge in den gemeldeten Gebieten fallbezogen. Dabei ist es unerheblich, ob eine negative Beeinträchtigung im gemeldeten Gebiet oder von außerhalb vorliegt (Außenschutz). Andererseits sind Teilbereiche des gemeldeten Gebiets, die weder einen Lebensraumtyp des Anhangs I enthalten noch von Arten des Anhangs II genutzt werden, nicht durch den Schutz der FFH-Richtlinie erfasst. Der Schutz der gemäß FFH-Richtlinie gemeldeten Gebiete ist somit nicht vollständig umfassend, sondern wirkt sich differenziert je nach Gebiet aus und ermöglicht so auch eine größere Flexibilität in der Umsetzung.

Die rechtliche Umsetzung sieht im Wesentlichen eine Anlehnung an die bestehenden Flächenschutzkategorien des Bundesnaturschutzgesetzes vor, allerdings bleibt auch die Nutzung von anderen Verwaltungsvorschriften oder des vertraglichen Naturschutzes möglich.

Die fachliche Umsetzung der FFH-Richtlinie obliegt entsprechend der verfassungsrechtlichen Kompetenzverteilung im Naturschutz den Bundesländern

Tab. VIII 3.4.2-4: *Stand der Ausweisung/Meldung von Schutzgebieten für „Natura 2000" in der EU[1] (Stand: 05.07.2004)*

Mitgliedstaat	Vogelschutzrichtlinie: SPA-Ausweisung [2]				Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie: pSCI-Meldung [3]			
	Anzahl	Fläche [1.000 ha]		terrestr. Meldeanteil an der Landesfläche [%]	Anzahl	Fläche [1.000 ha]		terrestr. Meldeanteil an der Landesfläche [%]
		terrestr.	marin			terrestr.	marin	
Belgien	229	296,4	0,0	9,7	278	301,5	18,1	9,9
Dänemark	112	253,6	971,0	5,9	253	317,6	795,9	7,4
Deutschland	497	2 290,9	917,1	6,4	3 535	2 495,6	719,0	7,0
Finnland	452	2 286,1	551,1	6,8	1 660	4 279,1	514,2	12,7
Frankreich	153	1 030,5	211,0	1,9	1 216	3 717,9	490,6	6,8
Griechenland	151	1 329,8	40,5	10,1	239	2 164,3	599,8	16,4
Großbritannien	252	1 413,5	37,7	5,8	605	1 598,2	902,6	6,5
Irland	131	200,4	81,0	2,9	413	755,0	338,6	10,7
Italien	503	2 446,9	39,6	8,1	2 256	4 417,3	222,7	14,7
Luxemburg	12	13,9	0,0	5,4	47	38,3	0,0	14,8
Niederlande	77	519,7	491,3	12,5	141	395,5	355,3	9,5
Österreich	94	927,5	0,0	11,1	164	887,4	0,0	10,6
Portugal	50	933,4	62,2	10,1	94	1 601,2	49,0	17,4
Schweden	509	2 563,1	301,7	6,2	3 902	5 784,4	583,3	13,9
Spanien	417	7 784,8	54,2	15,4	1 381	11 412,0	523,6	22,6
Europäische Union (EUR15)	**3 639**	**24 290,7**	**3 758,3**	**7,6**	**16 184**	**40 165,4**	**6 112,8**	**12,5**

[1] Zahlenangaben für Europäische Vogelschutz- und FFH-Vorschlagsgebiete können nicht addiert werden; Prozentangaben für „Natura 2000" insgesamt sind bislang nicht EU-weit verfügbar
[2] SPA: Special Protection Areas – Europäische Vogelschutzgebiete
[3] pSCI: proposed Sites of Community Importance – FFH-Vorschlagsgebiete

Quelle: *Europäische Kommission 2004*

bzw. für die Ausschließliche Wirtschaftszone (AWZ) dem Bund. Die Umsetzung der FFH-Richtlinie verlangt jedoch ein abgestimmtes Verfahren und eine Bewertung aller Gebietsmeldungen auf nationaler Ebene. Diese Koordinierung wird auch im Bezug auf Monitoring und Berichtspflichten sowie die Erarbeitung von Bewertungsvorschlägen aus länderübergreifender Sicht für die Bundesländer vom Bundesamt für Naturschutz durchgeführt.

Das Meldeverfahren erfolgt in drei Schritten: nach Abgrenzung und Vorschlag von Gebieten durch die Bundesländer ist zunächst eine nationale Bewertung durchzuführen. Danach werden die FFH-Gebietsvorschläge (pSCI – proposed Sites of Community Interest) vom Mitgliedstaat an die Europäische Kommission weitergeleitet. In einem zweiten Bewertungsschritt wird auf gemeinschaftlicher Ebene mit dem räumlichen Bezug zu den sieben biogeographischen Regionen (pannonisch – seit Mai 2004 -, mediterran, makaronesisch, boreal, alpin, atlantisch, kontinental – Deutschland hat Anteil an den drei zuletzt genannten biogeographischen Regionen) eine Bewertung der Vollständigkeit des Netzes „Natura 2000" für jede Anhang II-Art und jeden Lebensraumtyp der FFH-Richtlinie durchgeführt. In einem letzten Schritt werden anschließend die Gebiete als Special Areas of Conservation (SAC) durch die Mitgliedstaaten ausgewiesen. Die Schutzbestimmungen des Art. 6 der FFH-Richtlinie sind jedoch schon mit der Meldung der Gebietsvorschläge nach Brüssel anzuwenden. Die Verträglichkeitsprüfung nach Art. 6 gilt bis zum Abschluss des Meldeverfahrens auch für potenziell geeignete FFH-Gebiete.

Die Umsetzung der Richtlinie ist in der EU bisher recht unterschiedlich erfolgt. Der Meldestand in Deutschland ist ebenfalls sehr heterogen. Die Tab. VIII 3.4.2-5 zeigt, dass bislang 8,7 % der terrestrischen Fläche Deutschlands als FFH-Gebiete vorgeschlagen wurden. Mecklenburg-Vorpommern und Rheinland-Pfalz haben mit einer Meldung von jeweils mehr als 15 % ihrer Landesfläche eine Vorreiterrolle. Bei vollständiger Umsetzung der gegenüber der EU im November 2003 übermittelten Nachmeldeabsichten und weiteren Nachbesserungen zur Behebung der letzten Meldedefizite wird sich der Meldeanteil bundesweit auf ca. 9,3 % erhöhen. Die Bundesländer Baden-Württemberg, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Rheinland-Pfalz, Saarland und Thüringen kommen danach voraussichtlich auf einen Anteil der gemeldeten Gebiete an der Landesfläche von mindestens 10 %. Der Bund hat im Mai 2004 acht FFH-Gebiete in seiner Ausschließlichen Wirtschaftszone gemeldet. Dies entspricht einem Flächenanteil von knapp 30 % der deutschen AWZ.

[1] Bundesamt für Naturschutz (2004): Daten zur Natur 2004; Münster (Landwirtschaftsverlag).

Tab. VIII 3.4.2-5: *Stand der Gebietsmeldungen zur FFH-Richtlinie in Deutschland (Stand: 31.12.2004)*

Bundesland	Meldungen gem. Art. 4 (1) der FFH-RL an die EU (pSCI[1])		
	Anzahl	Fläche [ha]	Meldeanteil[2] [%]
Baden-Württemberg	363	230 871 (+3 582)[3]	6,5
Bayern	674	645 420	9,2
Berlin	15	5 435	6,1
Brandenburg	620	333 106	11,3
Bremen	9	2 470	6,1
Hamburg	15	5 249 (+13 742)[3]	7,0
Hessen	585	208 978	9,9
Mecklenburg-Vorpommern	230	287 308 (+181 546)[3]	12,4
Niedersachsen	172	281 878 (+261 588)[4]	5,9
Nordrhein-Westfalen	513	183 440	5,4
Rheinland-Pfalz	120	248 240	12,5
Saarland	118	26 325	10,3
Sachsen	270	168 661	9,2
Sachsen-Anhalt	263	178 586	8,7
Schleswig-Holstein	270	124 274(+568 662)[4]	7,9
Thüringen	247	161 463	10,0
Deutschland ohne AWZ	**4 484**	**3 091 704 (+1 029 120)[3,4]**	**8,7**

[1] proposed Sites of Community Importance – FFH-Vorschlagsgebiete
[2] Meldeanteil bezogen auf die Landfläche des jeweiligen Bundeslandes gemäß Statistischem Jahrbuch (1999)
[3] plus Watt-, Wasser-, Bodden- und Meeresflächen nach Angaben des jeweiligen Bundeslandes
[4] plus Watt-, Wasser- und Meeresflächen nach Berechnungen des BfN

Quelle: *Bundesamt für Naturschutz 2004 c*

IX NUTZUNG NATÜRLICHER RESSOURCEN

IX 1 Nutzung der entnommenen Materialien und Energieträger

Die Umwelt wird durch wirtschaftliche und gesellschaftliche Nutzungen in vielfältiger Weise beansprucht:

- Sie dient als Quelle für erneuerbare und nicht erneuerbare Ressourcen, die als Input bei der Produktion von Gütern und Dienstleistungen zum Teil kostenlos genutzt werden.
- Sie wird als Aufnahmemedium für Schadstoffe und Abfälle genutzt, die beim Produktionsprozess oder beim Ge- oder Verbrauch der produzierten Güter anfallen.
- Sie stellt den Standort für menschliches Handeln und Leben bereit.
- Sie wird direkt als Konsumgut etwa in ihrer Funktion als Erholungsraum genutzt.

Nachhaltiges Wirtschaften verlangt einen möglichst schonenden Umgang mit der Natur, damit auch den nachfolgenden Generationen noch eine intakte Umwelt zur Verfügung steht. Die Gewinnung und Nutzung eines Rohstoffs geht stets mit Flächen-, Material- und Energieinanspruchnahme, Stoffverlagerung sowie Schadstoffemissionen einher. Diese haben negative Auswirkungen auf die Umwelt. Daher müssen Rohstoffe sparsam und effizient genutzt werden. Einen wichtigen Beitrag dafür liefern technische Innovationen, die zu einer Entkopplung der Ressourceninanspruchnahme vom Wirtschaftswachstum führen. Der davon ausgehende Modernisierungsschub stärkt die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft und sichert Wachstum und Beschäftigung.

Effizienzsteigerung führt allerdings nur dann zum Erfolg, sofern die Effizienzgewinne nicht durch wachsende Produktion, zunehmenden Verkehr und Konsum aufgezehrt werden.

Die Inanspruchnahme der Umwelt als Ressourcenquelle lässt sich über die jeweilige Menge an natürlichen Einsatzfaktoren, wie Rohstoff- oder Energieinanspruchnahme (Kap. IX 1.1 und Kap. IX 1.2) sowie die Art und Intensität der Bodennutzung (Kap. IX 2) messen. Setzt man die einzelnen in physischen Einheiten gemessenen Mengen in Beziehung zu der wirtschaftlichen Leistung, dann lassen sich – ähnlich wie bei der Betrachtung der wirtschaftlichen Einsatzfaktoren Arbeit und Kapital – Produktivitäten als Indikatoren für die Effizienz der Nutzung natürlicher Einsatzfaktoren errechnen.

Die Produktivität eines Einsatzfaktors gibt an, wie viel wirtschaftliche Leistung mit der Nutzung einer Einheit dieses Faktors produziert wird.

$$\text{Produktivität} = \frac{\text{Bruttoinlandsprodukt (real)}}{\text{Einsatzfaktor}}$$

Die Produktivität drückt somit aus, wie effizient eine Volkswirtschaft mit dem Einsatz von Arbeit, Kapital und Natur umgeht. Direkt untereinander vergleichbar sind diese Faktoren wegen ihrer unterschiedlichen Beschaffenheit und Funktionen nicht. Die Beobachtung ihrer Entwicklung über längere Zeiträume kann aber darüber Auskunft geben, wie sich das Verhältnis dieser Faktoren verändert. Weiterhin ist zu beachten, dass bei der Berechnung von Produktivitäten der gesamte reale Ertrag der wirtschaftlichen Tätigkeit ausschließlich auf den jeweiligen Produktionsfaktor bezogen wird, obwohl das Produkt aus dem Zusammenwirken sämtlicher Produktionsfaktoren entsteht. Die ermittelten Produktivitäten können deshalb nur als grobe Orientierungshilfen dienen.

Das Statistische Bundesamt berichtet in den jährlich veröffentlichten „Umweltökonomischen Gesamtrechnungen“ (http://www.destatis.de/basis/d/umw/ugrtxt.php) über die Wechselwirkungen zwischen wirtschaftlichen Aktivitäten und Umwelt.

IX 1.1 Rohstoffeinsatz und -produktivität

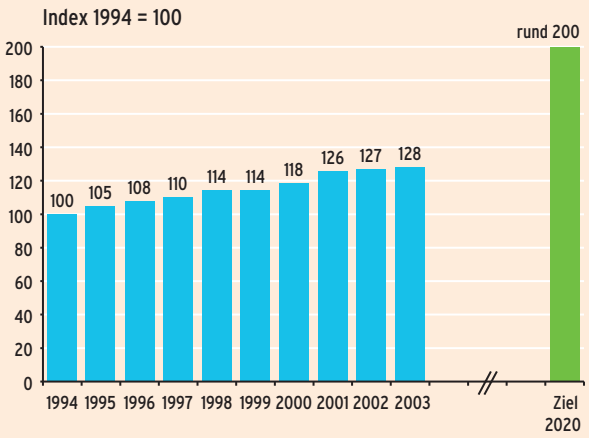
Die Bundesregierung hat sich in der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie [1] zum Ziel gesetzt, bis 2020 eine Verdoppelung der Rohstoffproduktivität gegenüber 1994 zu erreichen.

Zur Berechnung der Rohstoffproduktivität wird das Bruttoinlandsprodukt in Preisen von 1995 (Mrd. EUR) ins Verhältnis zur Entnahme verwerteter abiotischer Rohstoffe aus der inländischen Natur zuzüglich importierter abiotischer Güter (Mio. t) gesetzt [2]. Dieser Quotient wird als Indexgröße, bezogen auf das Basisjahr 1994 = 100, dargestellt.

Zwischen 1994 und 2003 stieg die Rohstoffproduktivität um rund 28 % (Abb. IX 1.1-1 und Tab. „Einsatz von Umweltfaktoren für wirtschaftliche Zwecke“). Dies ist auf die Vermeidung von Abfällen und die verstärkte Kreislaufwirtschaft bei Rohstoffen sowie die verstärkte Nutzung nachwachsender Rohstoffe zurückzuführen. In den letzten Jahren haben allerdings auch der konjunkturell bedingte geringere Material-

einsatz in der Bauwirtschaft und geringere Fördermengen im Steinkohle- und Braunkohlebergbau zur Steigerung der Rohstoffproduktivität beigetragen.

Abb. IX 1.1-1: *Rohstoffproduktivität (Bruttoinlandsprodukt in Preisen von 1995/Rohstoffentnahme und Import*)*



*) Entnahme verwerteter abiotischer Rohstoffe und Einfuhr abiotischer Güter 1997–2003: teilweise geschätzt

Quelle: *Statistisches Bundesamt 2004*

Zur Erreichung des Zieles der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie ist eine absolute jährliche Steigerung der Rohstoffproduktivität von rund 3,9 Prozentpunkten erforderlich. Im Zeitraum 1994 bis 2003 wurde eine durchschnittliche absolute jährliche Zunahme der Effizienz von 3,2 Prozentpunkten realisiert. In den Jahren 2002 (+1,4 Prozentpunkte) und 2003 (+1,6 Prozentpunkte) fiel die Produktivitätssteigerung allerdings geringer aus.

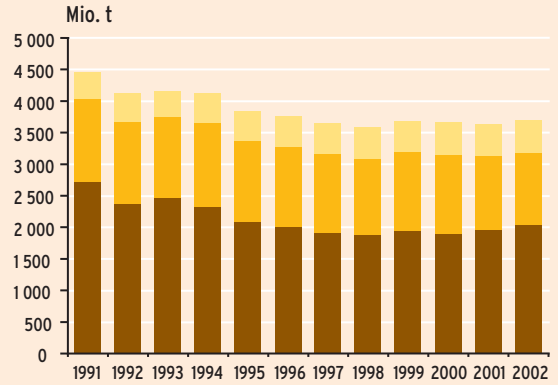
Zusätzliche Anstrengungen sind also geboten, um die Zielvorgabe der Nachhaltigkeitsstrategie zu erreichen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es bereits weiterer Anstrengungen bedarf, um die in der Vergangenheit realisierten Produktivitätssteigerungsraten zu halten, da angenommen werden kann, dass relativ einfach zu realisierende Einsparungsmaßnahmen zuerst umgesetzt wurden, so dass der erforderliche Aufwand zur Steigerung der Produktivitäten der natürlichen Einsatzfaktoren im Zeitablauf, sofern es nicht zu punktuellen technischen Durchbrüchen kommt, zunehmen dürfte.

Je nach Zielsetzung kann bei der Beobachtung des Einsatzes der Naturfaktoren entweder die Betrachtung der Produktivitätsentwicklung mit dem Schwerpunkt auf einer Effizienzsteigerung oder die Beobachtung der mengenmäßigen Entwicklung mit dem Ziel einer absoluten Verminderung der Belastung im Vordergrund stehen.

Im betrieblichen und produktbezogenen Umweltschutz sind Material-, Energie- und Flächeninanspruchnahme wichtige Kriterien bei der Ermittlung von umweltbezogenen Optimierungspotenzialen (Kap. IX 1.2 und Kap. VII 1.2). Branchenbezogene Stoffstromanalysen geben Hinweise auf besonders materialintensive Prozesse und Produkte, bei denen bevorzugt Einsparpotenziale und Substitutionsmöglichkeiten ermittelt und genutzt werden sollten. Wichtige Beiträge zur Erhöhung der Rohstoffproduktivität liefert die Kreislaufwirtschaft, indem jede Wieder- oder Weiterverwendung von Produkten und Materialien die Inanspruchnahme von Primärrohstoffen reduziert (Kap. X 1.1 und Kap. X 2.1).

Die Entwicklung der Materialströme zwischen 1991 und 2002 zeigt, dass der gesamte Materialdurchsatz der deutschen Wirtschaft im Verlauf der 90er Jahre gesunken ist. Die Entnahme von Material (ohne Gase und ohne Wasser) einschließlich der aus dem Ausland importierten Materialien ging um 760 Mio. t (18 %) auf rund 3 690 Mio. t zurück. Je Einwohner wurden im Jahr 2002 knapp 45 t Material für wirtschaftliche Zwecke entnommen. Dies beinhaltet auch die nicht verwerteten Rohstoffe wie Abraum durch die Braunkohleförderung (Abb. IX 1.1-2).

Abb. IX 1.1-2: *Entnahme und Einfuhr von Material*[1)]



[1)] Ergebnisse teilweise vorläufig. – Ab 2001 wird die Einfuhr nach dem SITC erhoben. Ein Vergleich der Zahlen mit früheren Ergebnissen ist deshalb nur eingeschränkt möglich. Verwertete inländische Entnahme: Summenbildung ohne Sauerstoff, Stickstoff und Luft.

Quelle: *Statistisches Bundesamt 2004 a*

Die Abnahme des gesamten Materialeinsatzes in Deutschland zwischen 1991 und 2002 ist im Wesentlichen das Ergebnis einer deutlichen Reduzierung der Abraummenge aus dem Braunkohlenbergbau als Folge eines Rückganges der Braunkohlenförderung in den neuen Ländern. Beim Abbau von einer Tonne Braunkohle entsteht im Durchschnitt fast die zehnfache Menge an Abraum. Der starke Rückgang beim Braunkohlenabraum führte dazu, dass sich die Entnahme von nicht verwerteten Materialien um et-

wa ein Viertel von 2 714 Mio. t auf 2 036 Mio. t verringerte. Zu diesen nicht verwerteten Materialien zählen außer Abraum aus dem Bergbau weitere Materialien, die bei der Rohstoffgewinnung oder anderen ökonomischen Aktivitäten anfallen.

Die Entnahme verwerteter Rohstoffe lag 2002 mit einer Menge von 1 140 Mio. t um 163 Mio. t (−12,5 %) niedriger als 1991. Zu den verwerteten Rohstoffen zählen vor allem Steine und Erden sowie Energieträger (als abiotische) und land- und forstwirtschaftliche (als biotische) Rohstoffe.

Dem Rückgang bei der inländischen Entnahme von verwerteten Rohstoffen stand eine gestiegene Menge an importierten Gütern gegenüber. Die Einfuhr von Materialien war 2002 um 80 Mio. t (+15,6 %) höher als 1991. Maßgeblich für diese Zunahme war vor allem der Anstieg bei der importierten Materialmenge an Energieträgern (es handelt sich hier um Rohstoffe und Halbwaren, wie Koks) um 49 Mio. t. Vor allem verringerte sich die Gewinnung von inländischer Stein- und Braunkohle, die durch importierte Energieträger ersetzt wurden. Die Zunahme beim Energieträgerimport fällt in Tonnen gemessen allerdings deutlich geringer aus als der Rückgang bei der inländischen Entnahme von Energieträgern um 136 Mio. t.

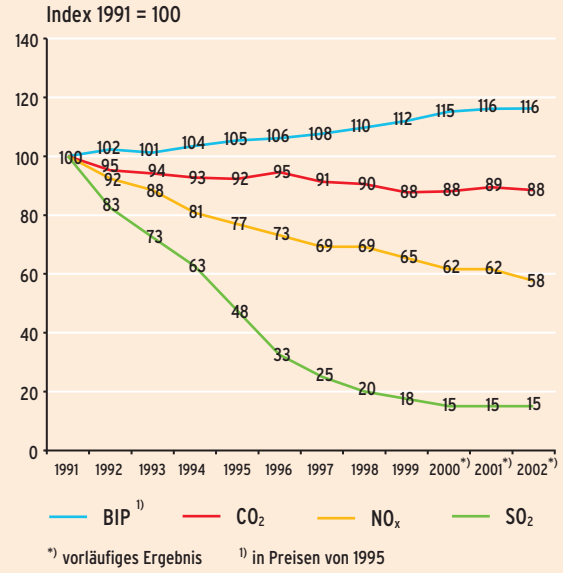
Die mit dem Abbau und der Umwandlung von Energieträgern und anderen Rohstoffen verbundenen Umweltbelastungen wie z.B. die Beeinträchtigung von Landschaften, Ökosystemen, Böden, Gewässern und der Luft, wurden in entsprechendem Umfang in das Ausland verlagert.

Die Abgabe von festem und gasförmigem Material an die Natur (ohne Ausfuhr) hat sich zwischen 1991 und 2002 um rund 18 % von 4 446 Mio. t auf rund 3 582 Mio. t verringert.

Vor allem ist der Ausstoß von Luftemissionen und damit die Inanspruchnahme der Natur als Senke für klimarelevante Gase und Luftschadstoffe in diesem Zeitraum deutlich zurückgegangen. Hier spielten vor allem eine Änderung beim Energieträgermix, also eine veränderte Zusammensetzung der eingesetzten Energieträger (Erdöl, Erdgas, Stein- und Braunkohle, Atomenergie etc.) eine Rolle sowie – vor allem beim SO_2 – Maßnahmen zur Rauchgasreinigung.

Stellt man den dargestellten Entwicklungen die Entwicklung des Bruttoinlandsprodukts mit einem Plus von 16,3 % von 1991 bis 2002 gegenüber, so zeigt sich für die Luftschadstoffe eine deutliche Entkopplung zwischen Wirtschaftswachstum und Naturnutzung. Das bedeutet eine deutlich effizientere Inanspruchnahme der Natur (Abb. IX 1.1-3).

Abb. IX 1.1-3: *Wirtschaftliche Entwicklung und Emission ausgewählter Luftschadstoffe*



Quelle: *Statistisches Bundesamt 2004 b*

[1] Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (Hrsg.), Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung, Berlin 2002

[2] Abiotische Rohstoffe sind die fossilen Energieträger sowie die aus Mineralien oder Organismenresten bestehenden Steine und Erden.

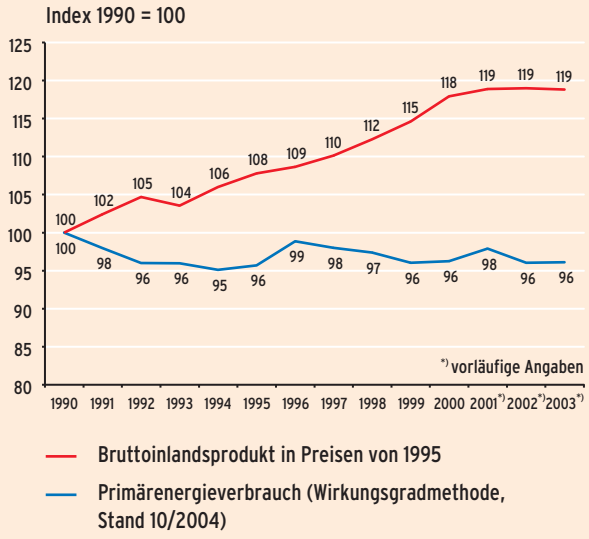
IX 1.2 Produktivität des Energieeinsatzes

Der Primärenergieverbrauch in Deutschland war zwischen 1990 und 2003 tendenziell leicht rückläufig. Die Verbrauchsabnahme betrug rund 4 %. Schwankungen um den rückläufigen Trend waren hauptsächlich auf den Einfluss der Witterungsbedingungen (erhöhter Heizenergiebedarf in kalten Wintern) zurückzuführen. Gleichzeitig stieg die gesamtwirtschaftliche Leistung um 19 %.

Dies bedeutet, dass die seit dem ersten Ölpreisschock zu beobachtende Entkopplung des Energieverbrauchs vom Wirtschaftswachstum fortgesetzt werden konnte (Abb. IX 1.2-1).

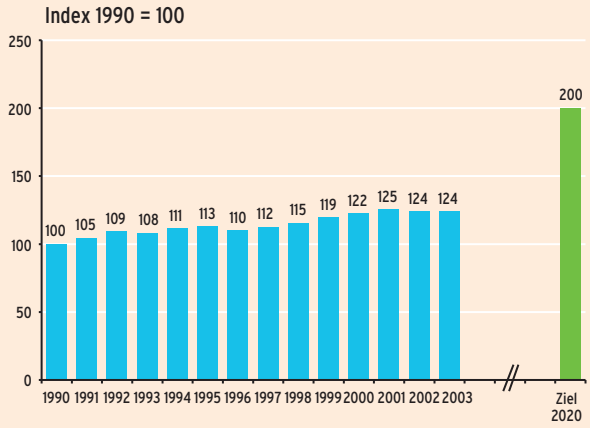
Die Effizienz der Nutzung von Energieträgern im Wirtschaftsprozess wird an der Energieproduktivität gemessen. Das in der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie gesetzte Ziel der Bundesregierung ist eine Verdopplung der Energieproduktivität bis 2020 auf der Basis 1990. Um das Ziel sicher erreichen zu können, muss die Energieproduktivität um jährlich durchschnittlich 3,3 % gesteigert werden. Zwischen 1990 und 2003 ist die Energieproduktivität in Deutschland um rund 24 % gestiegen (Abb. IX 1.2-2). Dies entspricht einer durchschnittlichen Zunahme um jährlich rund 1,9 Prozentpunkte.

Abb. IX 1.2-1: *Wirtschaftliche Entwicklung und Primärenergieverbrauch*



Quelle: *Umweltbundesamt nach Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Statistisches Bundesamt, Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2004*

Abb. IX 1.2-2: *Energieproduktivität*



Quelle: *Umweltbundesamt nach Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Statistisches Bundesamt, Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2004*

Damit hat sich die Energieproduktivität in den letzten Jahren nicht so stark entwickelt, wie es mit Blick auf das Ziel erforderlich wäre. Um dieses zu erreichen, sind verstärkte Anstrengungen und weitere Modernisierungsmaßnahmen in allen Sektoren (Kraftwerke, Verkehr, private Haushalte und Industrie) erforderlich.

Entscheidende Faktoren für den erreichten Anstieg der Energieproduktivität waren die Umstrukturierungsprozesse in den neuen Ländern, die Effizienzsteigerungen bei Kraftwerken und die Erschließung von Energie-Einsparpotenzialen in der Produktion in allen Wirtschaftsbereichen. Erhöhte Anforderungen an den Wärmeschutz von neuen Gebäuden führten zu vermindertem Heizenergiebedarf. Auch der Energiebedarf im Transport (Kraftstoffverbrauch) konnte seit dem Jahr 2000 spürbar verringert werden.

IX 1.3 Wasserressourcen und ihre Nutzung

Wasserbilanz für Deutschland

Trotz eines insgesamt ausreichenden Wasserdargebots gibt es auch in Deutschland regional begrenzte Wassermangelgebiete mit nur geringen nutzbaren Grundwasservorkommen. Vor allem in Ballungsgebieten übersteigt der Wasserbedarf das Dargebot. Mit Fernversorgungsleitungen wird für den Ausgleich zwischen Wassermangelgebieten und Wasserüberschussgebieten gesorgt. Fernwasserleitungen gibt es vor allem in Bayern, Baden-Württemberg, Niedersachsen, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen, im Ruhrgebiet und im Raum Frankfurt/Main.

Für die Wasserbilanz eines Gebietes muss der gesamte Wasserhaushalt betrachtet werden, der im Wesentlichen durch die Größen Niederschlagshöhe, Abflussmenge und Verdunstung repräsentiert wird. Die dargestellten Angaben für das potenzielle Wasserdargebot und die erneuerbare oder interne Wasserressource werden nach unterschiedlichen Berechnungsmodi ermittelt. Dabei wird das Wasserdargebot als langjähriges Mittel über ca. 30 Jahre erhoben (Tab. IX 1.3-1).

Nutzung der Wasserressourcen

Die Statistik weist für Deutschland eine Nutzung der Wasserressourcen von insgesamt etwa 38 Mrd. m^3 im Jahre 2001 aus. Dies entspricht einem Anteil von ca. 20 % des potenziellen Wasserdargebots.

Wärmekraftwerke nutzten ca. 24,8 Mrd. m3 Wasser aus der Eigenversorgung als Kühlwasser für die öffentliche Energieversorgung.

Als zweitgrößter Wassernutzer entnahmen Bergbau und Verarbeitendes Gewerbe ca. 7,8 Mrd. m3 für industrielle Zwecke.

Auf die öffentliche Wasserversorgung entfielen 2001 ca. 5,4 Mrd. m3.

Bezogen auf die Wasserentnahme von 38 Mrd. m^3 ergibt sich damit die nachfolgende prozentuale Verteilung: Wärmekraftwerke 65,3 %, Bergbau und Verarbeitendes Gewerbe 20,5 %, öffentliche Wasserversorgung 14,2 %.

Gegenüber 1991 ist die Wassernutzung 2001 insgesamt um etwas mehr als 8,3 Mrd. m^3 zurückgegangen. Den größten Anteil an diesem Rückgang hatten die Wärmekraftwerke mit 4 Mrd. m^3 und die industrielle Wassernutzung mit 3,2 Mrd. m^3, gefolgt von der öffentlichen Wasserversorgung mit ca. 1,1 Mrd. m^3 (Abb. IX 1.3-1).

Tab. IX 1.3-1: *Wasserbilanz für Deutschland in Mrd. m³*

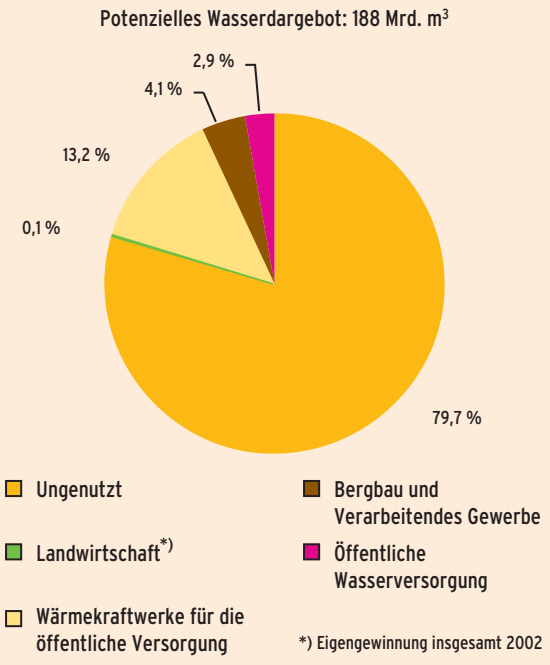
Wasserhaushaltsgrößen[1]	Mittelwert 1961–1990	Mittelwert 1961–1990[7]	1990	1995	2000	2001	2002
Niederschlag	307[6]	278	273	309	294	307	343
Zufluss von Oberliegern	71	71	57	83	78	84	87
Gebietsbürtiger Abfluss vom Bundesgebiet	117	117	82	132	111	109	151
Verdunstung	194	165	174	175	177	175	186
– davon Verdunstung aus Wasserverbrauch	*3,9*	*3,9*	*4,5*	*4,5*	*4,5*	*4,5*	*4,5*
Evapotranspiration	190	161	169	170	172	171	181
Wasservorratsänderung[2]			18	3	7	23	6
Wasserdargebot[1]	**Mittelwert 1961–1990**	**Mittelwert 1961–1990[7]**	**1990**	**1995**	**2000**	**2001**	**2002**
potenzielles Wasserdargebot[3]	188	188					
erneuerbare Wasserressource[4]	188	188	161	222	201	221	249
interne Wasserressource[5]	117	117	104	139	122	136	161

[1] Werte gerundet
[2] Niederschlag – gebietsbürtiger Abfluss vom Bundesgebiet – Verdunstung
[3] Differenz der vieljährigen Mittelwerte von Niederschlag und Evapotranspiration
[4] interne Wasserressource + Zufluss von Oberliegern
[5] Niederschlag – Evapotranspiration
[6] Niederschlagswert korrigiert um systematischen Messfehler
[7] Unter Verwendung nicht korrigierter Niederschläge. Die Einzeljahre sind in Relation zu diesen Werten zu setzen
kursiv = Schätzwerte

Quelle: *Bundesanstalt für Gewässerkunde 2004*

Die Eigengewinnung der Landwirtschaft betrug 2002 insgesamt 0,142 Mrd. m³. Für Bewässerungszwecke wurden auf einer Fläche von rund 235 000 ha insgesamt 0,149 Mrd. m³ Wasser genutzt, die aus Eigengewinnung und Fremdbezug stammten. Die Wassernutzung durch die Landwirtschaft ist stark von Niederschlägen abhängig. Insgesamt ist die landwirtschaftliche Wassernutzung in Deutschland von untergeordneter Bedeutung.

Abb. IX 1.3-1: *Wasserdargebot und Wassernutzung 2001*



Quelle: *Statistisches Bundesamt; Bundesanstalt für Gewässerkunde 2004*

Öffentliche Wasserversorgung

Die öffentliche Wasserversorgung wurde 2001 in Deutschland von insgesamt 6 560 Unternehmen (darunter 5 260 Unternehmen mit Eigengewinnung) getragen, die zur Gewinnung von Trinkwasser überwiegend Grund- und Quellwasser nutzen (74 %). Der Rest des Wasserbedarfs wird aus Oberflächenwasser und Uferfiltrat gedeckt (Tab. IX 1.3-2).

Tab. IX 1.3-2: *Wassergewinnung der öffentlichen Wasserversorgung nach Wasserarten*

		1991	2001
Wasserversorgungsunternehmen insgesamt	Anzahl	6 953	6 560
darunter mit Eigengewinnung	Anzahl	–	5 260
Wassergewinnung insgesamt	Mio. m³	6 515,5	5 409,0
Grund- und Quellwasser	Mio. m³	4 692,7	4 010,7
Uferfiltrat	Mio. m³	392,6	280,4
Oberflächenwasser[1]	Mio. m³	1 430,3	1 117,8

– keine Angabe
[1] See- bzw.Talsperrenwasser, Flusswasser sowie angereichertes Grundwasser (planmäßig versickertes Oberflächenwasser, echtes Grundwasser und ggf. Uferfiltrat)

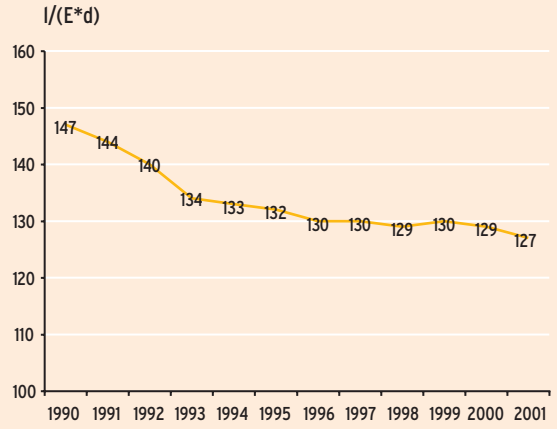
Quelle: *Statistisches Bundesamt 2003*

Die Wasserabgabe an Letztverbraucher ging zwischen 1991 und 2001 um rd. 17 % zurück. Im gleichen Zeitraum gelang es den Wasserversorgungsunternehmen, die Wasserverluste, z.B. durch Rohrbrüche und Undichtigkeiten spürbar zu reduzieren. Betrug im Jahr 1998 die Höhe der Wasserverluste 600 Mio. m³, so gingen die Verluste bis 2001 auf ca. 530 Mio. m³ zurück. Von der öffentlichen Wasserversorgung werden jährlich ca. 1 Mrd. m³ Wasser an die Industrie und gewerbliche Unternehmen abgege-

ben, dies entspricht ca. 21 % der gesamten Wasserabgabe. Mit 79 % sind Haushalte und Kleingewerbe der größte Wasserverbraucher, wobei die Differenzierung beider Bereiche aus messtechnischen Gründen vielfach nicht möglich ist.

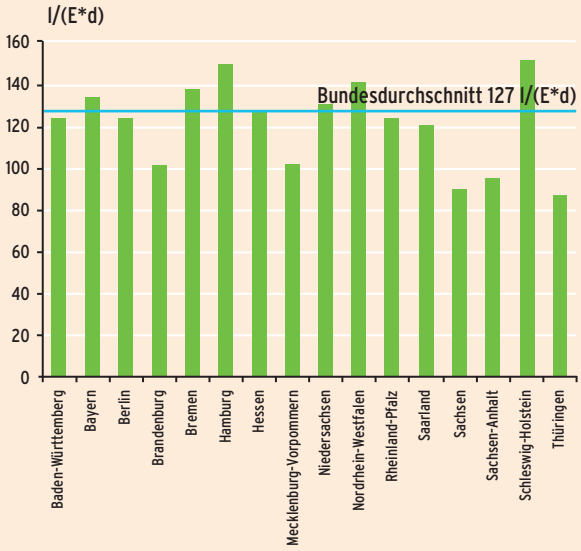
Der Anschlussgrad der Bevölkerung an die öffentliche Wasserversorgung beträgt in Deutschland 99 %. Diese Quote erlaubt eine Ermittlung des Pro-Kopf-Verbrauchs an Trinkwasser pro Einwohner und Tag. Gegenüber einem gemittelten Wasserverbrauch von 147 l pro Einwohner und Tag im Jahr 1990 sank diese Kennziffer auf 127 l im Jahr 2001 (Abb. IX 1.3-2). Dieser Durchschnittswert verteilt sich jedoch recht breit zwischen den einzelnen Bundesländern. Dem Maximalwert von 152 l/(E*d) in Schleswig-Holstein steht ein Minimalwert von 87 l/(E*d) in Thüringen gegenüber (Abb. IX 1.3-3).

Abb. IX 1.3-2: *Spezifischer Wasserverbrauch in Haushalten und Kleingewerbe*



Quelle: *Statistisches Bundesamt 2003 a*

Abb. IX 1.3-3: *Spezifischer Wasserverbrauch in Haushalten und Kleingewerbe nach Bundesländern 2001*



Quelle: *Statistisches Bundesamt 2003 a*

Dabei ist jedoch zu beachten, dass in diesen Angaben der Wasserverbrauch des Kleingewerbes enthalten ist (Tab. IX 1.3-3). Der Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e.V. (BGW) schätzt den Verbrauch im Kleingewerbe auf durchschnittlich 9 % der abgegebenen Menge. Diese entsprechen einer Wassermenge von 11 l/(E*d). Private Haushalte verbrauchen demnach im Bundesdurchschnitt ca. 116 l/(E*d) (Abb. IX 1.3-4).

Tab. IX 1.3-3: *Wasserabgabe der öffentlichen Wasserversorgung an Letztverbraucher, Eigenverbrauch der Wasserwerke und Wasserverluste*

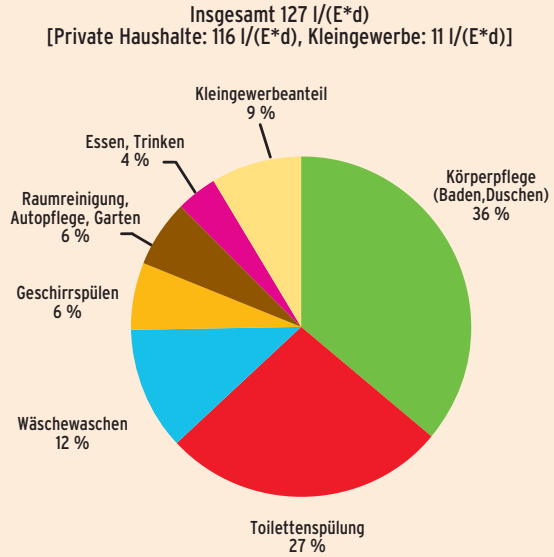
		1991	2001
Wasserabgabe	Mio. m^3	5 747,9	4 773,9
an Letztverbraucher	*l/(E*d)*	*200*	*160*
davon			
Haushalte und	Mio. m^3	4 127,8	3 779,1
Kleingewerbe	*l/(E*d)*	*144*	*127*
Gewerbliche Unternehmen			
und sonstige Abnehmer[1)]	Mio. m^3	1 620,2	994,8
Eigenverbrauch der			
Wasserwerke	Mio. m^3	142,7	133,5
Wasserverluste[2)]	Mio. m^3	758,0	529,7

[1)] sonstige Abnehmer: z.B. Krankenhäuser, Schulen, Behörden und kommunale Einrichtungen, Bundeswehr, landwirtschaftliche Betriebe. Wasserabgabe an gewerbliche Unternehmen 1991: 1 045,0 Mio. m^3, an sonstige Abnehmer 1991: 575,1 Mio. m^3. Ab 1998 aufgrund geänderter Erhebungsgrundlagen in der Statistik nur noch Ausweisung von Angaben für gewerbliche Unternehmen und sonstige Abnehmer insgesamt.

[2)] Tatsächliche (z. B. Rohrbrüche) und scheinbare (Messfehler) Verluste sowie statistische Differenzen

Quelle: *Statistisches Bundesamt 2003*

Abb. IX 1.3-4: *Wasserverwendung im Haushalt 2001 (Durchschnittswerte, bezogen auf die Wasserabgabe an Haushalte und Kleingewerbe*



Quelle: *Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e.V. 2002*

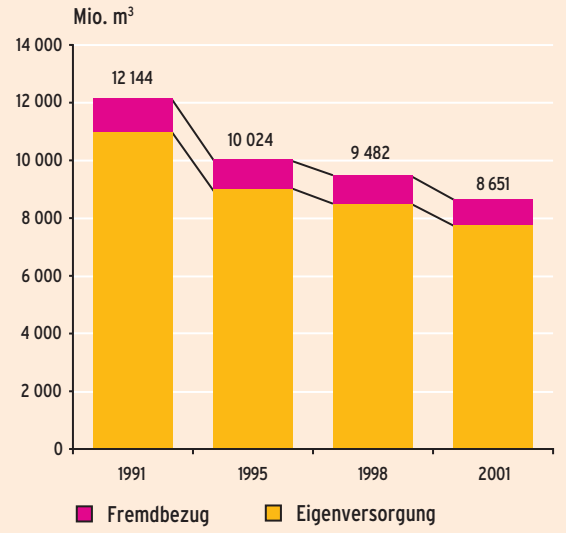
Nach vorläufigen Berechnungen des BGW stieg der Wasserverbrauch von Haushalten und Kleingewerbe im heißen Jahr 2003 auf 130 l/(E*d) [1].

[1] Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e.V. (BGW), http://www.bundesverband-gas-und-wasser.de/bgw/indexflash.html (Stand: 16.03.2005)

Wassernutzung im Bergbau und Verarbeitenden Gewerbe

Im Jahr 2001 förderten Bergbau und Verarbeitendes Gewerbe 7,8 Mrd. m^3 Wasser. Das sind rund 29 % weniger als 1991 durch Eigenentnahme gewonnen wurden. Zusätzlich wurden 2001 etwa 0,38 Mrd. m^3 aus dem öffentlichen Netz entnommen und 0,51 Mrd. m^3 von anderen Betrieben und Einrichtungen bezogen (Abb. IX 1.3-5 und Abb. IX 1.3-6).

Abb. IX 1.3-5: *Wasseraufkommen in Bergbau und Verarbeitendem Gewerbe*

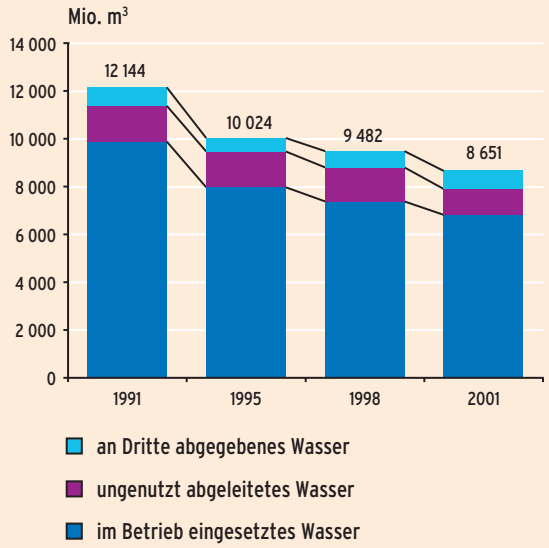


Quelle: *Statistisches Bundesamt 2003 b*

Hauptquellen für die Eigengewinnung sind Oberflächengewässer mit einer Entnahme von rund 5 Mrd. m^3 und Grundwasser mit 2,1 Mrd. m^3.

In den Produktionsprozessen wurden 6,8 Mrd. m^3 Frischwasser gebraucht. Hier ist gegenüber 1991 eine Abnahme um 31 % zu verzeichnen. Durch technische Entwicklungen hin zu Kreislauf- und Kaskadensystemen wurde das im Betrieb eingesetzte Wasser in den letzten Jahren verstärkt einer mehrfachen Nutzung zugeführt (Tab. „Mehrfachnutzung des im Bergbau und Verarbeitenden Gewerbe eingesetzten Wassers 2001“). Dadurch hat sich das Verhältnis des insgesamt genutzten Wassers zur Menge des im Betrieb eingesetzten Wassers erhöht. Zwischen den Branchen variiert dieser so genannte Nutzungsfaktor erheblich, von 1,0 im Ledergewerbe bis 22,1 im Fahrzeugbau. 1991 betrug der Nutzungsfaktor in Bergbau und Verarbeitendem Gewerbe insgesamt 4,2. 2001 lag er bei 4,9. Das in Bergbau und Industrie eingesetzte Wasser wurde mithin fast fünfmal genutzt. So steht dem Wassereinsatz von 6,8 Mrd. m^3 eine tatsächlich genutzte Wassermenge von 33,6 Mrd. m^3 gegenüber.

Abb. IX 1.3-6: *Wasserverwendung in Bergbau und Verarbeitendem Gewerbe*



Quelle: *Statistisches Bundesamt 2003 b*

Auch die eingesetzte Wassermenge verteilt sich zwischen den einzelnen Industriezweigen ganz unterschiedlich. Fast die Hälfte (48 %) wird von der Chemischen Industrie benötigt. Mit einem Frischwassereinsatz von 3,3 Mrd. m^3 ist dies die wasserintensivste Branche, gefolgt von Bergbau, Metallerzeugung und Papiergewerbe, die zwischen 0,8 Mrd. m^3 und 0,5 Mrd. m^3 Frischwasser einsetzten (Abb. IX 1.3-7).

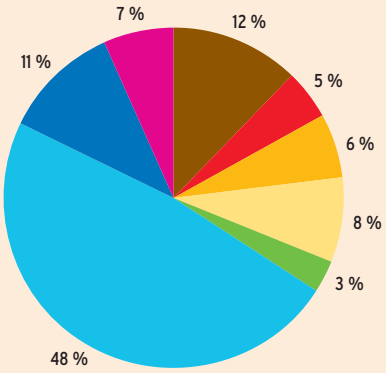
Wassernutzung bei Wärmekraftwerken für die öffentliche Versorgung

Mit 25,2 Mrd. m^3 Wasseraufkommen waren die Wärmekraftwerke für die öffentliche Versorgung 2001 die größten Wassernutzer in Deutschland (Abb. IX 1.3-8). Dies waren rund 4 Mrd. m^3 weniger als 1991. Dabei wird der Wasserbedarf zu 99 % aus Oberflächenwasser gedeckt.

Genutzt wird das entnommene Wasser überwiegend für Kühlzwecke. Nach Gebrauch wird es wieder dem Flusssystem zugeführt (Kap. VI 4.5). Etwa 8 % des insgesamt abgeleiteten Kühlwassers durchliefen 1998 zuvor betriebseigene Rückkühlungsanlagen [1].

Auch die Wärmekraftwerke erreichten gegenüber 1991 einen zumeist technologisch bedingten Spar-

Abb. IX 1.3-7: *Anteile am insgesamt in Bergbau und Verarbeitendem Gewerbe betrieblich eingesetzten Wasser 2001*

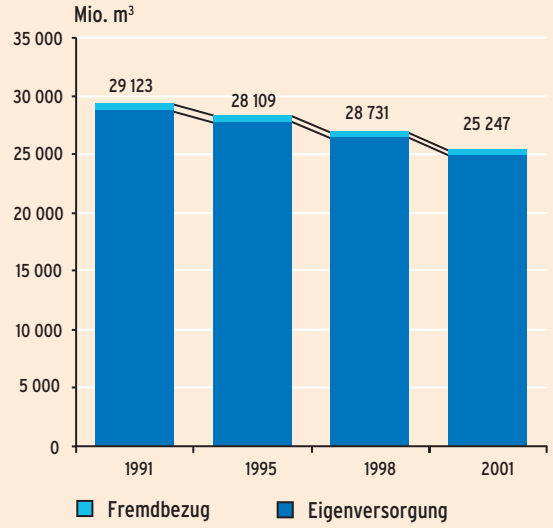


- Kohlenbergbau, Torfgewinnung, Gewinnung von Erdöl und Erdgas
- Erzbergbau, Gewinnung von Steinen und Erden, sonstiger Bergbau
- Ernährungsgewerbe und Tabakverarbeitung
- Papier-, Verlags- und Druckgewerbe
- Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen
- Chemische Industrie
- Metallerzeugung und -verarbeitung, Herstellung von Metallerzeugnissen
- Sonstige

Sonstige: z. B. Ledergewerbe, Holzgewerbe, Textil- und Bekleidungsgewerbe, Herstellung von Möbeln, Recycling, Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren, Glasgewerbe, Verarbeitung von Steinen und Erden, Maschinenbau, Herstellung von Elektrogeräten, Fahrzeugbau

Quelle: *Statistisches Bundesamt 2003*

Abb. IX 1.3-8: *Wasseraufkommen bei Wärmekraftwerken für die öffentliche Versorgung*



Quelle: *Statistisches Bundesamt 2003 b*

effekt. 2001 wurden fast 4 Mrd. m^3 (rd. 14 %) weniger eingesetzt als 1991.

Der Menge gewonnenen Wassers steht die rund dreifache Nutzungsmenge gegenüber (Tab. „Mehrfachnutzung des in Wärmekraftwerken für die öffentliche Versorgung eingesetzten Wassers"). Dies wurde unter anderem durch aufwändige Wassersparte chnologien mit vielfältigen Mehrfach- und Kreislaufsystemen erreicht.

[1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Umweltbundesamt: Wasserwirtschaft in Deutschland. Teil 1: Grundlagen, Bonn 2001 (Reihe Umweltpolitik), S. 27

Produktivität der Wassernutzung in den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen

Die Wasserstatistik berücksichtigt einige wasserverbrauchende Sektoren wie die Landwirtschaft und das Dienstleistungsgewerbe nicht oder veröffentlicht diesbezügliche Daten zeitversetzt.

Um die gesamte Wasserentnahme eines Jahres aus der Natur für die Berechnung der Wasserproduktivität ermitteln zu können, nutzen die Umweltökonomischen Gesamtrechnungen des Statistischen Bundesamtes weitere Daten aus der amtlichen Statistik sowie Publikationen wissenschaftlicher Institute, Verbände und Organisationen.

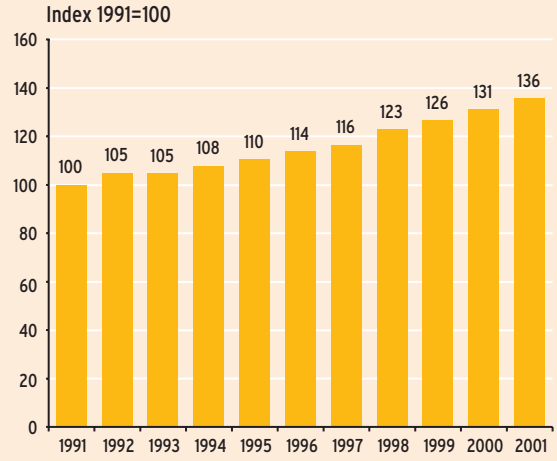
Damit wurde die Wasserentnahme für wirtschaftliche Zwecke im Jahre 2001 auf rund 43,9 Mrd. m^3 berechnet. 1991 waren es 51,2 Mrd. m^3.

Der deutliche Rückgang (–14,3 %) im Zeitraum 1991 bis 2001 ging einher mit einer um 16,1 % gestiegenen wirtschaftlichen Leistung. Dies bedeutet, dass Wasser zunehmend effizienter genutzt wurde. Die Relation Bruttoinlandsprodukt/Wasserentnahme weist einen kontinuierlichen Anstieg auf (Abb. IX 1.3-9).

IX 2 Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche und Flächenproduktivität

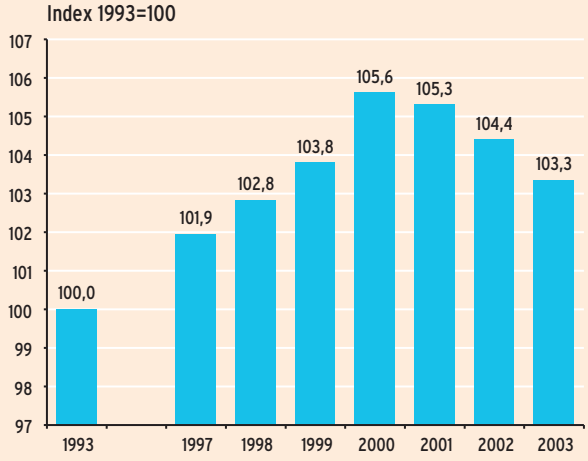
Die Bodenfläche ist eine begrenzte Ressource, die vom Menschen auf vielfache Weise genutzt wird. Während die Landwirtschaftsfläche in Deutschland zwischen 1993 und 2001 zurückging (–4 084 km^2), nahmen die Wald- und die Wasserfläche in geringem Ausmaß zu (778 km^2 und 248 km^2). Die Nut-

Abb. IX 1.3-9: *Wasserproduktivität*



Quelle: *Statistisches Bundesamt 2004*

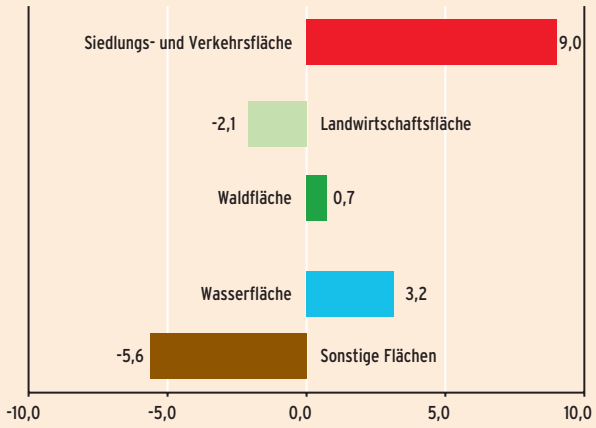
Abb. IX 2-2: *Flächenproduktivität*



Quelle: *Statistisches Bundesamt 2004*

zung des Bodens für Siedlungs- und Verkehrszwecke ist dagegen weiterhin die am dynamischsten wachsende Flächennutzung (zwischen 1993 und 2001 Zunahme um 3 634 km²). Dem steht nicht entgegen, dass die tägliche Flächenzunahme seit 2000 drei Jahre in Folge zurückging (Kap. VII 1.1 sowie Abb. IX 2-1).

Abb. IX 2-1: *Entwicklung der Flächennutzung 1993–2001 in %*



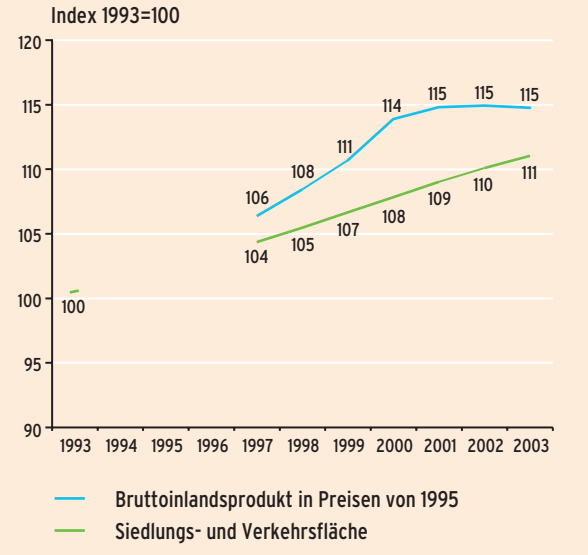
Quelle: *Statistisches Bundesamt 2003 c*

Im Jahr 2003 betrug die in Anspruch genommene Siedlungs- und Verkehrsfläche 44 750 km² gegenüber 40 305 km² im Jahr 1993. Die Flächenproduktivität, also das Verhältnis des erwirtschafteten Bruttoinlandsprodukts zur Flächennutzung für Siedlung und Verkehr, lag 2003 um 3,3 % über der von 1993. Pro km² Siedlungs- und Verkehrsfläche wurden rund 44,4 Mio. EUR erwirtschaftet. Allerdings ist seit 2000 ein Rückgang der Flächenproduktivität zu verzeichnen (Abb. IX 2-2).

Der Grund für diesen Rückgang ist in der fortgesetzten, wenn auch verlangsamten, Ausdehnung der Siedlungs- und Verkehrsflächen bei seit 2000 schwacher Konjunktur zu sehen (Abb. IX 2-3).

Betrachtet man die Flächennutzung detailliert, kommen in dieser Entwicklung zwei gegenläufige Trends zum Tragen: Einerseits nimmt im gesamten hier betrachteten Zeitraum die Ausdehnung ungenutzter innerörtlicher Siedlungsflächen zu. Nach Schätzungen des Statistischen Bundesamtes wuchsen die sogenannten Siedlungsbrachen bereits zwischen 1993 und 2001 um rund 12,7 ha pro Tag [1]. Gleichzeitig werden im ortsnahen Umland zusätzliche Flächen für Siedlungszwecke „verbraucht“, das heißt durch Bauleitplanung neu ausgewiesen. Das große Angebot an neuen preisgünstigen Bauflächen „auf der grünen Wiese“ erschwert in vielen Regionen die Wiedernutzung innerörtlicher Brachflächen [2]. Durch die ständige

Abb. IX 2-3: *Entwicklung von Siedlungs- und Verkehrsfläche und Bruttoinlandsprodukt*



Quelle: *Statistisches Bundesamt 2004*

Ausweitung der Siedlungsflächen bei schwacher konjunktureller Entwicklung und regional z.T. schrumpfender oder stagnierender Bevölkerung verschlechtert sich auch die Auslastung der erforderlichen Infrastruktur, wie Leitungsinfrastruktur, öffentliche Verkehrsmittel, Schulen oder Kindergärten. Die zu tragenden Kosten müssen in Schrumpfungsregionen auf immer weniger Einwohner umgelegt werden. Damit hat eine nachhaltige, sparsame Flächeninanspruchnahme für Siedlungen und Verkehr auch eine finanzpolitische und eine soziale Dimension.

[1] Statistisches Bundesamt, Umwelt – Umweltproduktivität, Bodennutzung, Wasser, Abfall. Tabellenteil zum UGR-Pressebericht 2003, Tab. 2, Wiesbaden 2003 (http://www.destatis.de/download/d/ugr/tabugr03.pdf)

[2] Umweltbundesamt, Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr – Materialienband, UBA-Texte 90/03

X ABFALLWIRTSCHAFT

Eine nachhaltige Politik der Schonung natürlicher Ressourcen misst der Schaffung geschlossener Stoffkreisläufe hohe Bedeutung zu. Die Grundsätze einer Kreislaufwirtschaft sind im Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) festgelegt (für radioaktive Abfälle gilt das Atomgesetz). Priorität hat ein möglichst hoher Grad der Ausnutzung aus der Natur entnommener Materialien, um die Entstehung von Abfällen an der Quelle zu vermeiden. Angestrebt wird eine Entkopplung des Abfallaufkommens vom Wirtschaftswachstum. Nicht vermeidbare Abfälle sollen als neue Rohstoffe wieder in der industriellen Produktion eingesetzt oder so aufbereitet werden, dass sie als „inerte“ (neutrale) Schlacke umweltverträglich abgelagert werden können.

X 1 Abfallaufkommen

X 1.1 Abfallaufkommen in der Abfallstatistik

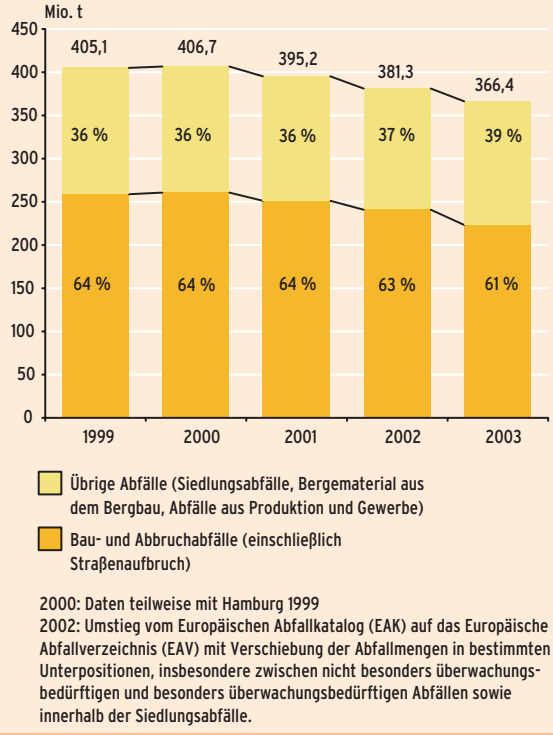
Bei der Interpretation der folgenden Angaben zu den einzelnen Hauptabfallströmen ist zu beachten, dass die Abfallstatistik nicht auf eine unmittelbare Erfassung des Abfallaufkommens ausgerichtet ist. Erfasst werden seit 1996 in erster Linie die bei den Betreibern von Abfallentsorgungsanlagen jeweils eingesetzten Abfallmengen. Die Einzelangaben führt das Statistische Bundesamt mit Hilfe eines Rechenmodells zum Abfallaufkommen zusammen. Dabei können Doppelzählungen nicht gänzlich vermieden werden.

Einschränkungen bezüglich der Vergleichbarkeit der Daten ergeben sich in der hier betrachteten Periode durch den Wechsel vom stofforientierten Abfallkatalog der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall LAGA (bis 1998) auf den in erster Linie herkunftsorientierten Europäischen Abfallkatalog EAK (ab 1999). Dies führte zu einer Verschiebung der Abfallmengen in bestimmten Unterpositionen, besonders bei den Siedlungsabfällen, Abfällen aus Produktion und Gewerbe sowie bei Bau- und Abbruchabfällen. Im Jahr 2002 wurde der EAK durch das Europäische Abfallverzeichnis EAV abgelöst, was Verschiebungen innerhalb der Siedlungsabfälle sowie zwischen nicht besonders überwachungsbedürftigen und besonders überwachungsbedürftigen Abfällen zur Folge hatte. Die besonders überwachungsbedürftigen Abfälle werden im Gegensatz zu früheren Jahren ab 1999 als Bestandteil der im Folgenden dargestellten Abfallarten betrachtet und lediglich nachrichtlich als Summe gesondert ausgewiesen.

Des weiteren werden ab 1999 bei den Abfällen aus Produktion und Gewerbe die in die innerbetriebliche Behandlung gehenden Abfallmengen nicht mehr berücksichtigt, Verwertung und Beseitigung werden allerdings weiterhin erfasst.

Eine Schlüsselrolle hinsichtlich der geschlossenen Kreislaufwirtschaft kommt der mengenmäßig bedeutendsten Abfallgruppe „Bau- und Abbruchabfälle (einschließlich Straßenaufbruch)“ zu, die 2003 mit 223,4 Mio. t den Großteil (61 %) des Abfallaufkommens ausmachte. Den größten Anteil an dieser Abfallgruppe hat der Bodenaushub, der überwiegend verwertet wird (Kap. X 2.2). Auch die restlichen mineralischen Bauabfälle werden zu einem erheblichen Teil verwertet. Die Entwicklung der Bau- und Abbruchabfälle verläuft weitgehend parallel zur konjunkturellen Entwicklung im Baugewerbe. (Abb. X 1.1-1 und Tab. „Abfallaufkommen“).

Abb. X 1.1-1: *Abfallaufkommen*



2000: Daten teilweise mit Hamburg 1999
2002: Umstieg vom Europäischen Abfallkatalog (EAK) auf das Europäische Abfallverzeichnis (EAV) mit Verschiebung der Abfallmengen in bestimmten Unterpositionen, insbesondere zwischen nicht besonders überwachungsbedürftigen und besonders überwachungsbedürftigen Abfällen sowie innerhalb der Siedlungsabfälle.

Quelle: *Statistisches Bundesamt 2005*

49,6 Mio. t (rd. 14 %) des Abfallaufkommens waren 2003 den Siedlungsabfällen zuzurechnen. Nach den Bauabfällen ist dies demnach die bedeutendste Abfallgruppe.

58 % der Siedlungsabfälle wurden 2003 der Verwertung zugeführt (Kap. X 2.1).

Haushaltsabfälle machten 2003 mit 43,9 Mio. t fast 90 % der Siedlungsabfälle aus.

Die Menge des über die öffentliche Müllabfuhr eingesammelten Hausmülls und der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle (nicht besonders überwachungsbedürftig), so genannter Restabfälle, lag 1999 bei rund 209 kg/Ew. Im Jahr 2003 waren es 192 kg/Ew. Hinzu kamen 1999 etwa 37 kg/Ew Sperrmüll, 2003 waren es 32 kg/Ew. Zusammen waren es 1999 also 246 kg/Ew, 2003 betrug die Summe 224 kg/Ew.

Die getrennt zur Verwertung eingesammelten Abfälle (kompostierbare Abfälle aus der Biotonne und andere getrennt gesammelte Fraktionen, nicht besonders überwachungsbedürftig) machten dagegen 1999 noch rund 195 kg/Ew und 2003 bereits 306 kg/Ew aus. Hier schlagen allerdings die 2002 erstmals einbezogenen kompostierbaren Garten- und Parkabfälle mit 47 kg/Ew zu Buche.

Insgesamt lag das Aufkommen an Abfällen aus Haushaltungen (nicht besonders überwachungsbedürftig) 1999 bei 441 kg/Ew. Im Jahr 2003 waren es 532 kg/Ew.

Seit Ende der Neunziger Jahre ist damit das Aufkommen an Abfällen aus privaten Haushalten insgesamt gestiegen. Dies kann wesentlich auf Effekte der veränderten statistischen Methodik zurückgeführt werden.

1999 wurden etwa 49 % der Haushaltsabfälle verwertet, 2003 waren es 61 %.

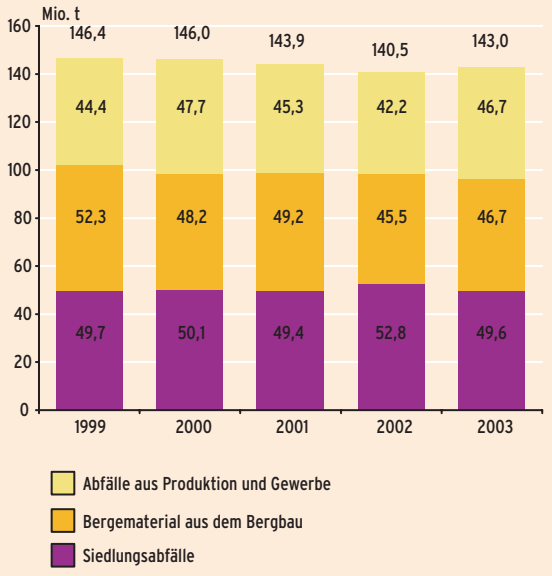
Das Bergematerial aus dem Bergbau machte 2003 mit 46,7 Mio. t etwa 13 % des Abfallaufkommens aus. Es stammt überwiegend aus dem Steinkohlebergbau. Der größte Teil des Bergematerials wird aufgehaldet. Der Rückgang des Aufkommens an Bergematerial geht einher mit dem Rückgang der Kohleförderung in Deutschland.

Ebenfalls etwa 13 % der Abfälle stammten 2003 aus der Produktion und dem Gewerbe. Das waren 46,7 Mio. t. (Abb. X 1.1-2 und Tab. „Abfallaufkommen“).

Besonders überwachungsbedürftige Abfälle werden ab 1999 in der Statistik lediglich nachrichtlich als Summe ausgewiesen. Rund 5 % des Abfallaufkommens gehörten 2003 (1999 3,3 %) zu diesem Abfallstrom. Sie fielen vor allem in der Industrie und dem Baugewerbe an und gingen 2003 zu 28 % in die Verwertung (Kap. X 1.2).

Seit 1999 stieg die Wirtschaftsleistung in Deutschland zunächst leicht und stagnierte dann, während das Gesamtabfallaufkommen sank (Abb. X 1.1-3).

Abb. X 1.1-2: *Abfallaufkommen – „Übrige Abfälle“*

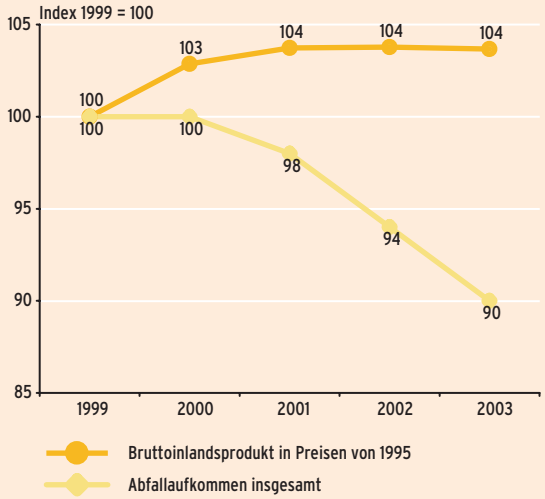


2000: Daten teilweise mit Hamburg 1999
2002: Umstieg vom Europäischen Abfallkatalog (EAK) auf das Europäische Abfallverzeichnis (EAV) mit Verschiebung der Abfallmengen in bestimmten Unterpositionen, insbesondere zwischen nicht besonders überwachungsbedürftigen und besonders überwachungsbedürftigen Abfällen sowie innerhalb der Siedlungsabfälle.

Quelle: *Statistisches Bundesamt 2005*

Die Abfallintensität, also das Gesamtabfallaufkommen gemessen an der Entwicklung des Bruttoinlandsprodukts (in Preisen von 1995), sank um 13 Prozentpunkte von rund 212 kg/Tsd. EUR auf rund 184 kg/Tsd. EUR (Abb. X 1.1-4).

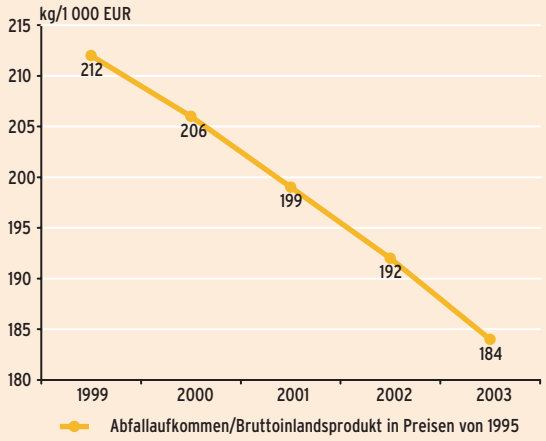
Abb. X 1.1-3: *Entkopplung des Abfallaufkommens von der Wirtschaftsleistung*



Quelle: *Statistisches Bundesamt 2005 a*

Der nicht verwertbare Anteil des Abfallaufkommens muss unter Vermeidung von Umweltschäden und Gesundheitsbeeinträchtigungen für die Bürger beseitigt werden. Vor der endgültigen Ablagerung sind organische Abfälle grundsätzlich mechanisch-biologisch

Abb. X 1.1-4: *Abfallintensität*



Quelle: *Statistisches Bundesamt 2005 a*

oder thermisch zu behandeln, um sie zu inertisieren und so vor allem die Freisetzung von Sickerwässern und Deponiegas aus Deponien deutlich zu verringern. Ab Mitte 2005 ist die Ablagerung unvorbehandelter organischer Abfälle nicht mehr zulässig. Für Verbrennungsanlagen gelten strenge Standards zur Luftreinhaltung. (Kap. X 2.1, Kap. X 3.2)

Weitere Informationen aus der Abfallstatistik des Statistischen Bundesamtes sind im Internet unter der Adresse http://www.destatis.de zu finden.

X 1.2 Aufkommen an besonders überwachungsbedürftigen Abfällen (Sonderabfällen)

Die Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen unterliegt nach § 40 des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes der Überwachung durch die zuständige Behörde. Nach § 41 sind grundsätzlich alle Abfälle zur Beseitigung überwachungsbedürftig. An die Beseitigung von Sonderabfällen, das heißt von Abfällen, die nach Art oder Beschaffenheit in besonderem Maße gesundheits-, luft- oder wassergefährdend sind, aus gewerblichen oder sonstigen wirtschaftlichen Unternehmen oder öffentlichen Einrichtungen, sind besondere Anforderungen zu stellen. Dies gilt auch für durch Rechtsverordnung festgelegte Abfälle zur Verwertung, für deren Verwertung wegen bestimmter Stoffmerkmale ebenfalls besondere Anforderungen zu stellen sind (besonders überwachungsbedürftige Abfälle zur Verwertung).

In den Ländern, in denen eine Andienungs- und Überlassungspflicht besteht, muss der den Abfall erzeugende Betrieb seine Abfallbehörde über Art, Menge und Zusammensetzung des Abfalls und über die vorgesehene Entsorgungsanlage informieren. Den Abfall zur Beseitigung weist die Behörde dann der geeigneten Anlage zu.

Welche Abfälle als Sonderabfälle zu klassifizieren sind, regelte bis Ende 2001 die „Verordnung zur Bestimmung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen“. Diese wurde zum 01.01.2002 durch die „Verordnung zur Umsetzung des europäischen Abfallverzeichnisses“ (Abfallverzeichnisverordnung AVV) ersetzt. Darin werden die besonders überwachungsbedürftigen Abfälle durch ein * gekennzeichnet. Diese Einstufung ergibt sich häufig aus dem Gefahrstoffrecht.

Die Erhebung der besonders überwachungsbedürftigen Abfälle stützt sich zum einen auf die Auswertung der Begleitscheine des Nachweisverfahrens (Abb. X 1.2-1). Auskunftspflichtig gegenüber den Statistischen Ämtern sind die zuständigen Behörden.

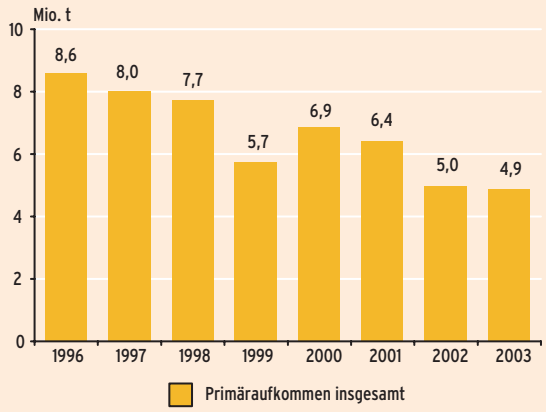
Abb. X 1.2-1: *Herkunft der Abfallmengen, die dem Überwachungsverfahren (Begleitschein) unterliegen 2003 in Tsd. t*



Quelle: *Statistisches Bundesamt 2005 b*

Damit werden aber weder die innerbetrieblich entsorgten Abfallmengen (Abb. X 1.2-2), noch die grenzüberschreitenden Mengen (Exporte und Importe) erfasst.

Abb. X 1.2-2: *Aufkommen besonders überwachungsbedürftiger Abfälle, die nicht durch Begleitscheine erfasst werden (Betriebe mit eigenen Entsorgungsanlagen*



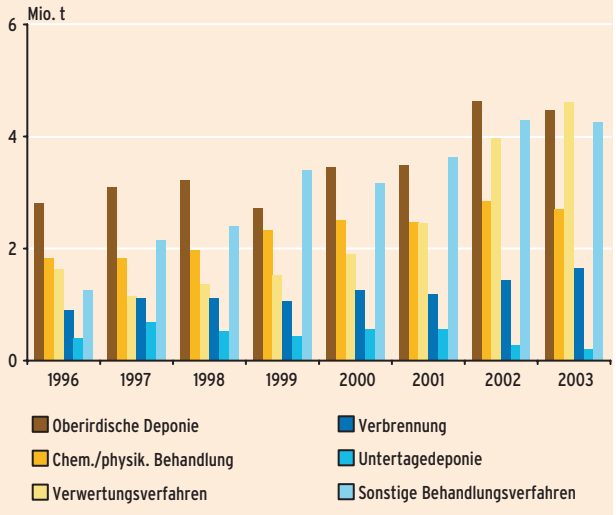
Quelle: *Statistisches Bundesamt 2003*

Bei der Bestimmung des ursprünglichen Abfallaufkommens (Primärabfall) sind Doppelzählungen zu berücksichtigen. So muss ein „Sonderabfall", der von einem Unternehmen A zu einer Behandlungsanlage B gebracht wird, mit einem Begleitschein dokumentiert werden. Die Verbringung des in der Behandlungsanlage B aus diesem Primär-Abfall entstandenen neuen Abfalls (Sekundär-Abfall) zu einer Entsorgungsanlage E muss erneut mittels Begleitschein erfasst werden.

Während für Aussagen über die Entwicklung des Aufkommens oder der Beurteilung von Maßnahmen zur Vermeidung von Abfällen das Primärabfallaufkommen zweckmäßig ist, sind für konkrete Entsorgungsplanungen nur die tatsächlichen Abfallströme aussagefähig. Schließlich benötigt ein Abfall, der zuerst behandelt und danach abgelagert wird, sowohl in der Behandlungsanlage wie auch später auf der Deponie entsprechende Kapazitäten. Eine zunehmende (Vor-)Behandlung von Abfällen bedingt also auch dann einen steigenden Bedarf an Behandlungskapazitäten, falls das (Primär-) Abfallaufkommen nicht ansteigt (Abb. X 1.2-3).

Abfälle können ihre Eigenschaften in einer Behandlungsanlage auch verändern. So entstehen beispielsweise in einer Hausmüllverbrennungsanlage aus nicht besonders überwachungsbedürftigem Hausmüll u.a. besonders überwachungsbedürftige Filterstäube, ebenso können aus besonders überwachungsbedürftigen Abfällen (z.B. Säurerückstände) in Neutralisationsanlagen nicht besonders überwachungsbedürftige Abfälle entstehen.

Abb. X 1.2-3: *Verbleib von Abfallmengen, die dem Überwachungsverfahren (Begleitscheine) unterliegen (ohne Im- und Exporte)*



Quelle: *Statistisches Bundesamt 2004*

X 1.3 Behandlung radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente

Nach § 9 a des Atomgesetzes hat der Erzeuger von radioaktiven Reststoffen dafür zu sorgen, dass diese schadlos verwertet oder als radioaktive Abfälle geordnet beseitigt werden.

Alle Aktivitäten der Abfallbehandlung unterliegen der behördlichen Aufsicht, sie erfolgt durch die atomrechtlichen Behörden der jeweiligen Bundesländer. Für die beim Betrieb der Kernkraftwerke im Kontrollbereich anfallenden Abfälle erstellt der Betreiber ein Abfallkonzept, das der zuständigen Aufsichtsbehörde vorgelegt wird. Durch geeignete Betriebsführung und entsprechende Planungen für die Anlagenrevisionen durch die Betreiber wird eine Minimierung des Aufkommens radioaktiver Abfälle erreicht. Die Betreiber der Kernkraftwerke führen die Behandlung, Konditionierung und Beseitigung radioaktiver Abfälle zum Teil mit Unterstützung anderer darauf spezialisierter Industrieunternehmen durch.

Die anfallenden radioaktiven Abfälle werden bereits zum Zeitpunkt ihres Entstehens nach Aktivität und Materialart sortiert. Dies geschieht zunächst mit dem Ziel, den größtmöglichen Anteil nach einer Freigabemessung und einer gegebenenfalls erforderlichen Dekontamination einer bedingungslosen oder bedingten Wiederverwertung zuzuführen. Falls die dafür vorgegebenen Grenzwerte nicht unterschritten werden können, wird angestrebt, mindestens die Freigabekriterien für die Entsorgung als konventionelle Abfälle zu erreichen.

Die Freigabewerte für radioaktive Stoffe mit geringfügiger Aktivität und das Freigabeverfahren sind in der neuen Strahlenschutzverordnung festgelegt. Die Strahlenschutzverordnung legt für etwa 300 Radionuklide massenspezifische Freigabewerte für feste und flüssige Stoffe, für die Freigabe von Gebäuden und Bodenflächen sowie für die Freigabe zur Beseitigung auf einer Hausmülldeponie oder in einer Verbrennungsanlage auf der Basis des 10 µSv-Konzeptes fest. Die Freigabe ist ein behördlicher Akt. Die erforderlichen Freimessungen werden vom Betreiber durchgeführt und unterliegen der Aufsicht durch die zuständige Landesbehörde, die auch Kontrollmessungen durchführt.

Die Vorbehandlung radioaktiver Abfälle dient der Volumenminimierung und der Umwandlung der Rohabfälle in handhabbare, endlagergerecht konditionierbare Zwischenprodukte. Alle radioaktiven Abfälle werden von ihrer Entstehung an sortiert und nach Art, Inhalt und Aktivität dokumentiert. In Anlage X der Strahlenschutzverordnung werden hierfür die Sortierkriterien und die Erfordernisse für die Erfassung, Bestimmung der Aktivität und die Dokumentation vorgegeben. Die Abfallverursacher können dadurch jederzeit Auskunft geben über den Bearbeitungszustand, die Aktivität und den Verbleib aller radioaktiven Abfälle.

Die Vorbehandlung, Konditionierung und Verpackung der radioaktiven Abfälle wird mit qualifizierten Verfahren und soweit möglich und sinnvoll in den Kernkraftwerken vorgenommen. Dabei werden für die jeweils vorgesehene Konditionierung so weit möglich die Anforderungen für die spätere Endlagerung berücksichtigt. Einrichtungen zur Vorbehandlung (z.B. zum Konzentrieren, Sortieren, Pressen und Verpacken) sind in allen Kernkraftwerken vorhanden. Zum Beispiel werden nicht brennbare flüssige Abfälle konzentriert sowie nicht brennbare feste Abfälle mit Hochdruckpressen kompaktiert. Die endlagergerechte Konditionierung erfolgt in vielen Fällen durch Vertragsunternehmen, die über mobile Einrichtungen (z.B. In-Fass-Trocknungsanlagen für flüssige Konzentrate oder fernbediente Unterwasser-Zerlegeeinrichtungen für mittelaktive Abfälle) verfügen und hierzu mit diesen Einrichtungen in die Kernkraftwerke kommen. Die Verbrennung brennbarer Abfälle und die Konditionierung (Zementierung) der entstehenden Aschen wird von Vertragsunternehmen in externen Anlagen durchgeführt. Die konditionierten Abfallgebinde werden vom Kernkraftwerk zurückgenommen, entweder dort gelagert oder zu zentralen (externen) Zwischenlagern gebracht.

Erhebung der Daten radioaktiver Abfälle aus Kernkraftwerken

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) führt jährlich eine Erhebung über die in Deutschland anfallenden radioaktiven Abfälle durch. Hierbei werden auch das Aufkommen und der Bestand an radioaktiven Abfällen aus den Kernkraftwerken ermittelt. In Deutschland unterscheidet man grundsätzlich zwischen radioaktiven Abfällen mit Wärmeentwicklung und solchen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung. Die Daten für die Jahre 1996 bis 2001 enthält die Tab. X 1.3-1.

Lagerung abgebrannter Brennelemente

Die Lagerung der abgebrannten Brennelemente erfolgt zunächst in den Nasslagerbecken der Kernkraftwerke und soll später in den geplanten standortnahen Zwischenlagern (Tab. X 1.3-2) erfolgen oder sie erfolgt bereits in den in Betrieb genommenen Lagern. Hierzu zählen das Standort-Zwischenlager in Lingen sowie die Interimslager in Neckarwestheim, Philippsburg, Biblis und Krümmel.

Die Unterkritikalität und die Kühlung der Brennelemente in den Nasslagerbecken sowie der Schutz vor äußeren Einwirkungen sind sichergestellt. Gemäß Auflagen in den Genehmigungen muss stets – mit Ausnahme des Kernkraftwerkes Stade – eine Kapazität in Höhe einer Kernladung freigehalten werden, um jederzeit die vollständige Entladung des Reaktorkerns zu ermöglichen. Die internen Lagerkapazitäten können grundsätzlich nicht kraftwerksüber-

Tab. X 1.3-1: *Bestand radioaktiver Abfälle aus dem Betrieb von Kernkraftwerken jeweils am 31. Dezember in m³*

	Abfallvolumen[1] (nicht wärmeentwickelnd)						(wärmeentwickelnd)					
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Unbehandelte Reststoffe und Zwischenprodukte	7 671	6 183	6 075	5 252	6 886	7 974	390	390	–	–	–	–
konditionierte Abfälle am Standort der KKW[2]	5 926	5 325	4 540	4 865	4 986	5129	1	1	1	6	6	6
im Jahr konditioniert[2]	3 174	2 048	1 561	1 238	623	827	–	–	–	5	–	–

[1] Aufkommen und Bestand von stillgelegten bzw. von außer Betrieb genommenen KKW sind in diesen Zahlen nicht enthalten.
[2] Angabe in m³ Gebindevolumen

Quelle: *Bundesamt für Strahlenschutz 2002*

Tab. X 1.3-2: *Beantragte und genehmigte standortnahe Zwischenlager (Stand: 26.1.2004)*

Kernkraftwerk	Art des Lagers	Antragsdatum	Masse SM [Mg]	Stell-plätze	Genehmigung/ Ergänzungsgenehmigung erteilt	Masse SM [Mg]	Stell-plätze
Biblis A und Biblis B	Standort-Zwischenlager	23.12.1999	1400	135	22.09.03*	1400	135
auch für Mülheim-Kärlich	Interimslager	30.11.2000	300	28	20.12.01/16.04.03**	300	28
Brokdorf	Standort-Zwischenlager	20.12.1999	1000	100	28.11.03*	1000	100
Brunsbüttel	Standort-Zwischenlager	30.11.1999	450	80	28.11.03*	450	80
	Interimslager	15.08.2000	140	18	noch nicht erteilt		
Grafenrheinfeld	Standort-Zwischenlager	23.02.2000	800	88	12.02.03*	800	88
Grohnde	Standort-Zwischenlager	20.12.1999	1000	100	20.12.02*	1000	100
Gundremmingen B und Gundremmingen C	Standort-Zwischenlager	25.02.2000	2250	192	19.12.03*	1850	192
Isar 1 und Isar 2	Standort-Zwischenlager	23.02.2000	1500	152	22.09.03*	1500	152
Krümmel	Standort-Zwischenlager	30.11.1999	800	80	19.12.03*	775	80
	Interimslager	15.08.2000	120	12	20.06.03*	120	12
Lingen (Emsland)	Standort-Zwischenlager	22.12.1998	1250	130	06.11.02*	1250	130[1)]
Neckarwestheim 1 und	Standort-Zwischenlager	20.12.1999	1600	151	22.09.03*	1600	151
Neckarwestheim 2	Interimslager	20.12.1999	250	24	10.04.01/20.12.02**	250	24
Philippsburg 1 und	Standort-Zwischenlager	20.12.1999	1600	152	19.12.03*	1600	152
Philippsburg 2	Interimslager	20.12.1999	250	24	31.07.01/17.02.03**	130/250	12/24
Stade	Standort-Zwischenlager	20.12.1999	300	80	Antrag zurückgenommen		
Unterweser	Standort-Zwischenlager	20.12.1999	800	80	22.09.03*	800	80

* weitere Genehmgigungsschritte folgen
** Verfahren ist abgeschlossen
[1)] Für 125 mit Kernbrennstoffen beladene Behälter und 5 Behälter mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung

Quelle: *Bundesamt für Strahlenschutz 2004*

greifend genutzt werden, Ausnahmen sind bei den Doppelblockanlagen Neckarwestheim und Philippsburg genehmigt. Beim Kernkraftwerk Obrigheim wurde 1998 der Betrieb eines bereits früher errichteten zusätzlichen Nasslagers im erdbebengeschützten Notstandsgebäude außerhalb des Reaktorgebäudes genehmigt. Die erste Einlagerung von Brennelementen fand hier 1999 statt.

Für die Jahre 1997 bis 2001 enthält die Tab. X 1.3-3 die genehmigten Lagerkapazitäten, den Bestand an abgebrannten und teilabgebrannten Brennelementen und die derzeit freien Lagerkapazitäten als Summe der Stückzahlen für alle betriebenen Kernkraftwerke (der Schwermetallgehalt pro Brennelement ist anlagenabhängig). Angegeben sind auch die in den Reaktorkernen genutzten Brennelemente. Letztmalig wurde über die Zwischenlagerung von abgebrannten Brennelementen in Nasslagern im Bericht „Gemeinsames Übereinkommen über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle“ der Bundesrepublik Deutschland im Mai 2003 berichtet [1].

Die abgebrannten Brennelemente können bis zur Inbetriebnahme der geplanten standortnahen Zwischenlager zum einen in zentrale Zwischenlager, die

Tab. X 1.3-3: *Zwischenlagerung von abgebrannten Brennelementen in den Nasslagern aller Kernkraftwerke am 31. Dezember*

Lagerkapazität	1997		1998		1999		2000		2001	
	Anzahl	(t SM)	Anzahl	(t SM)	Anzahl	(t SM)	Anzahl	(t SM)	Anzahl	(t SM)
genehmigte Gesamtkapazität	20 843	6 575	21 865	6 877	21 865	6 877	22 037	6 965	21 247	6 613
abgebrannte und teilabgebrannte Brennelemente[1)]	6 442	2 289	7 382	2 582	8 410[2)]	2 931[2)]	9 614[2),5)]	3 278[2)]	10 373	3 474
freie Kapazität[3)]	5 982	1 840	6 288	1 909	5 570	1 606	4 898	1 382	3 849	1 004
Brennelemente im Reaktorkern[4)]	6 473	1 898	6 473	1 898	6 473	1 898	6 473	1 900	6 473	1 902

[1)] Teilabgebrannte Brennelemente können wieder eingesetzt werden
[2)] Daten aus Erhebungen des Bundesamtes für Strahlenschutz
[3)] Stellplätze für eine Kernentladung und betrieblich anderweitig genutzte Stellplätze nicht mitgerechnet
[4)] Die Brennelemente des Reaktorkerns von Mülheim-Kärlich befinden sich im Nasslagerbecken
[5)] Zusätzlich sind insgesamt 126 Brennelemente in Transport- bzw. Transport/Lagerbehältern auf den Anlagengeländen bereitgestellt

Quelle: *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2004*

kraftwerksübergreifend genutzt werden, und zum anderen zur Wiederaufarbeitung nach Frankreich und Großbritannien verbracht werden. Die Beladung der Transportbehälter erfolgt in den Lagerbecken. Die Behälter verlassen das Kernkraftwerk in Form von Nasstransporten (Großbritannien) oder Trockentransporten (Frankreich). Gemäß der am 11. Juni 2001 unterzeichneten Vereinbarung der Bundesregierung mit den Energieversorgungsunternehmen vom 14. Juni 2000 sind Transporte zu Wiederaufarbeitungsanlagen ab dem 1. Juli 2005 nicht mehr vorgesehen. Durch eine Änderung des Atomgesetzes im Jahr 2002 wurde das Verbot der Abgabe bestrahlter Brennelemente aus Kernkraftwerken an Wiederaufarbeitungsanlagen ab dem 01.07.2005 festgelegt.

Zur zukünftigen Minimierung von Transporten abgebrannter Brennelemente haben die Betreiber der Kernkraftwerke für alle 13 Standorte (außer Mülheim-Kärlich) in den Jahren 1998 bis 2000 die Errichtung von Standort-Zwischenlagern beantragt und bis Ende 2003 wurden die Genehmigungen (1. Genehmigungsschritte) für alle Standort-Zwischenlager und alle Interimslager mit Ausnahme von Brunsbüttel erteilt (Tab. X 1.3-2). Für das Interimslager in Brunsbüttel hatte die Antragstellerin keine Bescheidung im Jahr 2003 angestrebt. Der Antrag für das Standort-Zwischenlager in Stade wurde wegen der frühzeitigen Stilllegung des Kraftwerks wieder zurückgenommen.

Bei diesen Zwischenlagern handelt es sich um Trockenlager für abgebrannte Brennelemente in Transport- und Lagerbehältern überwiegend vom Typ CASTOR. Die Kapazität dieser Lager ist so bemessen, dass alle anfallenden abgebrannten Brennelemente bis zur endgültigen Einstellung des Kraftwerksbetriebes aufgenommen werden können. Sie ermöglicht auch die Lagerung über die Stilllegung des Kernkraftwerks hinaus bis zur Inbetriebnahme eines Endlagers etwa bis zum Jahr 2030. Um kurzfristige Engpässe bei der Lagerung zu vermeiden, haben die Kernkraftwerke Biblis, Brunsbüttel, Krümmel, Neckarwestheim und Philippsburg zusätzlich vorübergehende Lagermöglichkeiten (Interimslager) mit einer Kapazität zwischen 12 und 28 Stellplätzen für Lagerbehälter beantragt. Zuständig für die Genehmigung aller Zwischenlager ist das Bundesamt für Strahlenschutz.

Entsorgung

Die rechtliche Grundlage der Entsorgung bildet das Atomgesetz. Danach erfolgt die Entsorgung der Kernkraftwerke durch

- Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente in zentralen (externen) Zwischenlagern und sobald möglich in den Standort-Zwischenlagern auf dem Kernkraftwerksgelände, und spätere direkte Endlagerung der Brennelemente,
- Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente, wobei die Abgabe bestrahlter Brennelemente aus Kernkraftwerken an den Wiederaufarbeitungsanlagen bis längstens zum 30. Juni 2005 zugelassen ist, und Verwertung der zurückgewonnenen Kernbrennstoffe sowie geordnete Beseitigung der dabei angefallenen radioaktiven Abfälle in Deutschland,
- Konditionierung, Zwischenlagerung und spätere Endlagerung der radioaktiven Abfälle aus dem Betrieb und der Stilllegung der Kernkraftwerke.

Für die Endlagerung schwach- und mittelradioaktiver Abfälle war bis zum September 1998 das Endlager Morsleben in Betrieb. Das Planfeststellungsverfahren für das Endlager Schacht Konrad wurde im Mai 2002 mit einem positiven Planfeststellungsbeschluss abgeschlossen. Derzeit laufen vier Klagen gegen den Beschluss, so dass dieser nicht vollzogen werden kann. Die Arbeiten im Erkundungsbergwerk Gorleben sind für mindestens 3 Jahre und höchstens 10 Jahre unterbrochen. Die Bundesregierung plant, dass ein Endlager für alle Arten radioaktiver Abfälle etwa im Jahre 2030 zur Verfügung stehen soll. Das Bundesumweltministerium (BMU) hatte den Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte einberufen, der ein nachvollziehbares Verfahren für die Auswahl von geeigneten Endlagerstandorten auf der Basis fundierter Kriterien erarbeitet und dem BMU im Dezember 2002 übergeben hat. Das BMU beabsichtigt nun, die Ergebnisse in gesetzliche Regelungen umzusetzen.

Bis zur Inbetriebnahme eines Endlagers soll die betreiberseitige Vorsorge zur Entsorgung ab 1. Juli 2005 durch Nachweise zur Zwischenlagerung erfolgen.

[1] http://www.bmu.de/files/behandlung_brenn.pdf

X 2 Abfallverwertung

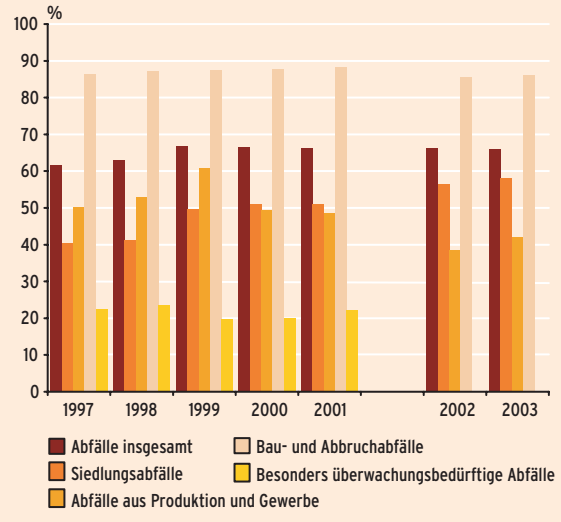
Nachhaltige Entwicklung erfordert die Entkopplung des Ressourcenverbrauchs vom Wirtschaftswachstum. Die Effizienzstrategie kann allerdings auf Dauer nur erfolgreich sein, sofern wachsende Produktion und mehr Konsum die Effizienzgewinne nicht aufzehren. Ein Schlüssel hierzu liegt in der Vermeidung und verstärkten Verwertung von Abfällen. Letztlich muss die Abfallwirtschaft sich von ihrer Sonderrolle einer „end-of-pipe“-Mentalität verbunden mit einer möglichst billigen Beseitigung des Mülls einer Wohlstandsgesellschaft verabschieden und sich statt dessen zu einer Quelle für die Beschaffung von Rohstoffen und für die Produktion von Gütern fortentwickeln.

X 2.1 Verwertungsquoten der Hauptabfallströme

Bei der Interpretation der folgenden Angaben zu den einzelnen Hauptabfallströmen ist zu beachten, dass im dargestellten Zeitraum mehrere Umstellungen in der Erhebung und Zurechnung der erfassten Mengen zu Abfallarten erfolgten. Erfasst werden seit 1996 in erster Linie die bei den Betreibern von Abfallentsorgungsanlagen jeweils eingesetzten Abfallmengen.

Einschränkungen bezüglich der Vergleichbarkeit der Daten ergeben sich in der hier betrachteten Periode durch den Wechsel vom Abfallkatalog der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall LAGA (bis 1998) auf den Europäischen Abfallkatalog EAK (ab 1999). Dies führte zu einer Verschiebung der Abfallmengen in bestimmten Unterpositionen, besonders bei den Siedlungsabfällen, Abfällen aus Produktion und Gewerbe sowie bei Bau- und Abbruchabfällen. Im Jahr 2002 wurde der EAK durch das Europäische Abfallverzeichnis EAV abgelöst, was Verschiebungen innerhalb der Siedlungsabfälle sowie zwischen nicht besonders überwachungsbedürftigen und besonders überwachungsbedürftigen Abfällen zur Folge hatte. Bis einschließlich 2001 werden die besonders überwachungsbedürftigen Abfälle als eigener Abfallstrom aufgeführt, in den Angaben ab dem Jahr 2002 sind sie als Bestandteil in den anderen Abfallarten enthalten (Abb. X 2.1-1 und Tab. „Aufkommen, Beseitigung und Verwertung von Abfällen 1999–2003“).

Abb. X 2.1-1: *Verwertungsquoten der Hauptabfallströme*



1998: Hamburg mit Daten von 1997
ab 1999: Umstieg auf den Europäischen Abfallkatalog (EAK) mit Verschiebungen in bestimmten Unterpositionen (Siedlungsabfälle, Abfälle aus Produktion und Gewerbe, Bau- und Abbruchabfälle)
2000: Hamburg mit Daten von 1999
2002: Einführung des Europäischen Abfallverzeichnisses mit Verschiebungen zwischen nicht besonders überwachungsbedürftigen und besonders überwachungsbedürftigen Abfällen sowie innerhalb der Siedlungsabfälle. Besonders überwachungsbedürftige Abfälle: Ab 2002 sind die besonders überwachungsbedürftigen Abfälle in den Hauptabfallströmen enthalten.

Quelle: *Statistisches Bundesamt 2005*

Ein weiterer Bruch in der Zeitreihe von 1998 nach 1999 bei den Abfällen aus Produktion und Gewerbe entsteht dadurch, dass ab 1999 die in die innerbetriebliche Abfallbehandlung gehenden Abfallmengen nicht mehr berücksichtigt werden, Verwertung und Beseitigung werden allerdings weiterhin erfasst.

Über die Hälfte der Siedlungsabfälle wird verwertet. Damit liegt Deutschland weit über der durchschnittlichen Verwertungsquote in der Europäischen Union, die etwa 26 % beträgt [1].

Die Verwertungsquote der Abfälle aus Produktion und Gewerbe stieg im Zuge der Umstellung der statistischen Zuordnung der Abfallarten vom Schlüssel der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) auf den Europäischen Abfallkatalog (EAK) zunächst an und fiel dann unter das Niveau des Jahres 1997. Es ist zu vermuten, dass diese Bewegung auf statistische Effekte zurückzuführen ist.

Bau- und Abbruchabfälle machen etwa 60 % des Abfallaufkommens in Deutschland aus. Die Verwertung dieser Abfälle bewegt sich seit Jahren auf sehr hohem Niveau.

[1] Bericht der Europäischen Kommission an den Rat und das Europäische Parlament über die Umsetzung des Gemeinschaftsrechts (Richtlinie 75/442/EWG über Abfälle, Richtlinie 91/689/EWG über gefährliche Abfälle, Richtlinie 75/439/EWG über die Altölbeseitigung, Richtlinie 86/278/EWG über Klärschlamm und Richtlinie 94/62/EG über Verpackungen und Verpackungsabfälle) für den Zeitraum 1998–2000, KOM (2003) 250 endgültig vom 19.05.2003, S. 20

X 2.2 Verwertung ausgewählter Abfallarten

Im Folgenden wird die Verwertung ausgewählter Abfallströme in Deutschland näher beleuchtet.

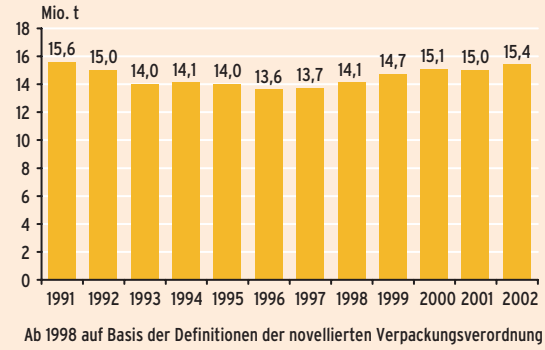
Verpackungsverbrauch und Verwertung von Verpackungsabfällen

Auf Grund der EU-Richtlinie 94/62 /EG vom 20.12.1994 über Verpackungen und Verpackungsabfälle ist die Bundesregierung verpflichtet, der Europäischen Kommission ab dem Jahr 1997 mit jährlichen Berichten Daten über den Verbrauch und die Verwertung von Verpackungen in Deutschland zu übermitteln.

Auf der Grundlage von Erhebungen, Vorerhebungen sowie eigener Erhebungen der Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung (GVM), Wiesbaden, liegen

Daten über die Entwicklung des Verbrauchs und der Verwertung von Verpackungen in Deutschland für die Jahre 1991 bis 2002 vor. Danach ging der jährliche Verpackungsverbrauch zwischen 1991 und 1996 zurück. Von 1997 bis 2000 ist er wieder angestiegen. Nach einem geringfügigen Rückgang im Jahr 2001 stieg der Verpackungsverbrauch im Jahr 2002 erneut (Abb. X 2.2-1). Über den gesamten Zeitraum hatten Verpackungen aus Papier/Pappe/Karton jeweils den massemäßig größten Anteil am Verpackungsverbrauch, gefolgt von Glas, Holz/Kork, Kunststoff und den übrigen Verpackungsmaterialien (Tab. „Entwicklung des Verpackungsverbrauchs"). Von den im Jahr 2001 in Deutschland angefallenen Verpackungsabfällen wurden 79 % einer Verwertung zugeführt. Die Daten belegen, dass es gelungen ist, den Verpackungsverbrauch vom allgemeinen Wirtschaftswachstum zu entkoppeln und die Verwertung der Verpackungsabfälle deutlich zu steigern.

Abb. X 2.2-1: *Entwicklung des Verpackungsverbrauchs*



Quelle: *Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung 2004*

Die Entwicklung des Verpackungsverbrauchs spiegelt sowohl die Auswirkungen der VerpackV als auch Veränderungen beim Verpackungsmaterialeinsatz aufgrund aktueller Marktentwicklungen wider. Im Einzelnen verläuft die Entwicklung differenziert. So ist beispielsweise der Einsatz von Glasverpackungen gegenüber 1991 nachhaltig zurückgegangen (Verringerung der Einsatzgewichte, Verdrängung von Glas-Getränkeverpackungen durch Dosen, Getränkekartons und Kunststoffflaschen), während der Einsatz von Papier-, Kunststoff- und Holzverpackungen deutlich zugenommen hat (starke Zunahme von Wellpappe, Karton und Vollpappe sowie auch von Holz bei Transportverpackungen; starke Zuwächse bei Kunststoffverpackungen, vor allem bei Einweg-Kunststoffflaschen).

Verpackungen aus den Materialien Glas sowie Weißblech, Aluminium, Kunststoff und Papier/Pappe/Karton einschließlich der Verbunde auf der jeweiligen Materialbasis waren im Jahr 2001 mit 81 % am Gesamtverbrauch von Verpackungen beteiligt, davon entfielen 58 % auf die privaten Endverbraucher. Das heißt, dass Verpackungen aus diesen Materialien und in diesem Anwendungsbereich, für die die VerpackV Quoten für die stoffliche Verwertung vorgibt, nahezu die Hälfte des Verpackungsverbrauchs insgesamt ausmachen. Der Verpackungsverbrauch der privaten Endverbraucher zeigt tendenziell die gleiche Entwicklung wie der Verpackungsverbrauch insgesamt, jedoch ist hier der von der GVM für 2002 ermittelte Verbrauch niedriger als der für das Jahr 1991 ermittelte Verbrauch. Bei der Verwertung der Verpackungsabfälle privater Endverbraucher konnten gute Ergebnisse erzielt werden. Die Verwertungsmenge ist von 1991 bis 2002 auf das Doppelte angestiegen. Hohe Zuwächse bei der Verwertung wurden besonders bei Aluminium- und Kunststoffverpackungen erreicht, hier stehen Verwertungsquoten von 5,1 % (Aluminium einschließlich Verbunde auf Aluminiumbasis) und 3,1 % (Kunststoff einschließlich Verbunde auf Kunststoffbasis) im Jahr 1991 Verwertungsquoten von 71,5 % und 54,7 % im Jahr 2002 gegenüber (Tab. X 2.2-1).

Auf der Grundlage der VerpackV erfasst das Duale System Deutschland (DSD) seit 1993 flächendeckend in ganz Deutschland Verpackungsabfälle, die bei privaten Endverbrauchern anfallen, und führt sie der stofflichen Verwertung zu (§ 6 Abs. 3). Im Zeitraum von 1993 bis einschließlich 2002 wurden insgesamt 51,34 Mio. t verwertet. Die von der VerpackV vorgegebenen Verwertungsquoten, deren Einhaltung jährlich nachgewiesen werden muss, konnten durch die DSD AG insgesamt stets erfüllt oder übererfüllt werden. Nach der im Jahr 1998 novellierten VerpackV sind neben den Herstellern und Vertreibern, die sich mit ihren Verpackungen dem DSD angeschlossen haben (das für sie die Entsorgungsaufgaben übernimmt und den erforderlichen Quotennachweis erbringt), nunmehr auch die sogenannten Selbstentsorger zum Nachweis der erzielten Verwertungsquoten verpflichtet (Verpflichtete nach § 6 Abs. 1 und 2).

Mehrweggetränkeverpackungen unterliegen nach der VerpackV wegen ihrer ökologischen Vorteilhaftigkeit einem besonderen Schutz. Deshalb sind gemäß § 9 der VerpackV die Mehrweganteile am Getränkemarkt jährlich zu erheben und von der Bundesregierung bekannt zu machen.

Nach § 9 Abs. 2 VerpackV sollen mindestens 72 % der Getränke (ohne Milch) in Mehrwegverpackungen abgefüllt werden. 1991 lag der Mehrweganteil am Getränkeverbrauch (ohne Fass > 5 l, Post- und Premix und ohne Milch) in Deutschland mit 71,69 % auf hohem Niveau. Nach einer Steigerung und Stabilisierung in den Jahren 1992 und 1993 ist ab 1994 eine rückläufige Entwicklung zu verzeichnen. Im Jahr 1997 wurden erstmals die geforderten 72 % un-

Tab. X 2.2.-1: *Verwertung von Verkaufsverpackungen – Private Endverbraucher*[1)]

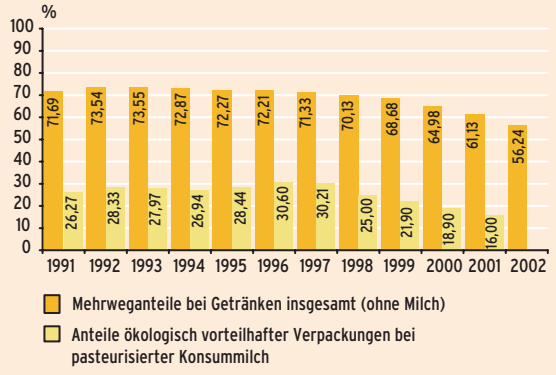
kt	1991	2000	2002	2003[2)]
Verbrauch **Glas**	3 817,3	3 318,0	2 895,8	2 684,2
Verwertungsmenge	2 049,7	2 709,2	2 466,4	2 320,2
Verwertungsquote in %	***53,7***	***81,7***	***85,2***	***86,4***
Verbrauch **Weißblech**	740,8	645,9	635,2	495,8
Verwertungsmenge	250,6	515,3	521,2	436,9
Verwertungsquote in %	*33,8*	*79,8*	*82,0*	*88,1*
Verbrauch **Aluminium**	84,5	79,3	81,9	76,8
Verwertungsmenge	4,3	60,3	58,5	55,8
Verwertungsquote in %	***5,1***	***76,0***	***71,5***	***72,6***
Verbrauch **Kunststoffe**[3)]	976,9	1 120,9	1 380,4	1 354,3
Verwertungsmenge	30,0	651,1	755,1	784,3
Verwertungsquote in %	***3,1***	***58,1***	***54,7***	***57,9***
Verbrauch **Papier**[3)4)]	1 834,2	1 992,6	2 049,4	2 080,4
Verwertungsmenge	514,0	1 541,9	1 659,6	1 640,9
Verwertungsquote in %	***28,0***	***77,4***	***81,0***	***78,9***
Verbrauch **Flüssigkeitskarton**	193,0	218,1	227,2	246,9
Verwertungsmenge	k.A.	134,3	144,0	159,1
Verwertungsquote in %	***k.A.***	***61,6***	***63,4***	***64,4***
Verbrauch **Insgesamt**[5)]	7 646,7	7 374,8	7 269,9	6 938,4
Verwertungsmenge	2 848,7	5 612,1	5 604,9	5 397,2
Verwertungsquote in %	***37,3***	***76,1***	***77,1***	***77,8***

[1)] ab 1998 auf der Basis der Definitionen der novellierten Verpackungsverordnung
[2)] Vorausschätzung GVM
[3)] inkl. Verbunde auf der jeweiligen Materialbasis
[4)] ausgenommen Flüssigkeitskarton
[5)] nur quotierte Verpackungsmaterialien

Quelle: *Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH 2004*

terschritten. Seitdem war ein immer stärkerer jährlicher Rückgang des bundesweiten Mehrweganteils festzustellen (Abb. X 2.2-2). Den Festlegungen in der Verpackungsverordnung folgend trat nach der wiederholten Quotenunterschreitung am 01.01.2003 eine Pfandpflicht auf Einweggetränkeverpackungen in Kraft. Betroffen sind bisher die Getränkebereiche Bier, Mineralwasser und Erfrischungsgetränke mit Kohlensäure, da deren spezifischer Mehrweganteil auch unter Berücksichtigung des unvermeidlichen statistischen Fehlers jeweils unter das Niveau von 1991 gesunken ist (Tab. X 2.2-2). Erhebungen im Jahr 2003 zeigen, dass dieser Abwärtstrend durch die Einführung der Pfandpflicht für Einweg-Getränkeverpackungen zum 1.1.2003 gestoppt wurde und der Mehrweganteil wieder angestiegen ist.

Abb. X 2.2-2: *Anteile ökologisch vorteilhafter Getränkeverpackungen*



Quelle: *Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH 2004 a*

Der Mehrweganteil vom Verbrauch pasteurisierter Konsummilch in Deutschland stieg zwischen 1991 und 1996 an und ist seitdem rückläufig. Mit der Novelle der VerpackV im Jahr 1998 wurde eine Quote für ökologisch vorteilhafte Milchverpackungen von 20 % (bis dahin 17 %) vorgegeben, die als Gesamtquote den Mehrweganteil und den Anteil von in Schlauchbeuteln aus Polyethylen abgefüllter pasteurisierter Konsummilch umfasst. Der auf dieser Grundlage für 1997 ermittelte Anteil von in ökologisch vorteilhafte Verpackungen abgefüllter pasteurisierter Konsummilch lag mit insgesamt 30,21 % noch weit über dieser Vorgabe. Seit 1998 sank dieser Anteil jedoch. Im Jahr 2000 wurde die gesetzlich vorgegebene Quote für ökologisch vorteilhafte Milchverpackungen erstmals unterschritten. 2001 wurden nur noch 16 % der pasteurisierten Konsummilch in ökologisch vorteilhafte Verpackungen abgefüllt. (Tab. X 2.2-3 und Abb. X 2.2.-2).

Papierverbrauch und Verwertung von Altpapier

Im Jahre 2003 lag der Verbrauch von Papier, Pappe und Karton in Deutschland bei 224 kg pro Einwohner. Dies entspricht einem Gesamtverbrauch von 18,5 Mio. t. Das Altpapieraufkommen, d.h. die vom Altpapierhandel und den privaten und kom-

Tab. X 2.2-2: *Mehrweganteile bei Getränken insgesamt (ohne Milch) in %*

Getränkebereich	1991	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Getränke insgesamt (ohne Milch)	71,69	73,55	72,87	72,27	72,21	71,33	70,13	68,68	64,98	61,13	56,24	63,74
Mineralwasser	91,33	90,89	89,53	89,03	88,68	88,31	87,44	84,94	80,96	74,03	68,33	72,98
Fruchtsäfte und andere Getränke ohne CO_2	34,56	39,57	38,76	38,24	37,93	36,81	35,66	34,75	33,62	33,16	29,46	25,40
Erfrischungsgetränke mit CO_2	73,72	76,67	76,66	75,31	77,50	77,76	77,02	74,90	66,96	60,21	53,97	66,09
Bier	82,16	82,25	81,03	79,07	79,02	77,88	76,14	74,83	72,81	70,84	67,99	89,24
Wein	28,63	28,90	28,54	30,42	28,66	28,10	26,20	26,75	25,03	25,41	25,29	24,62

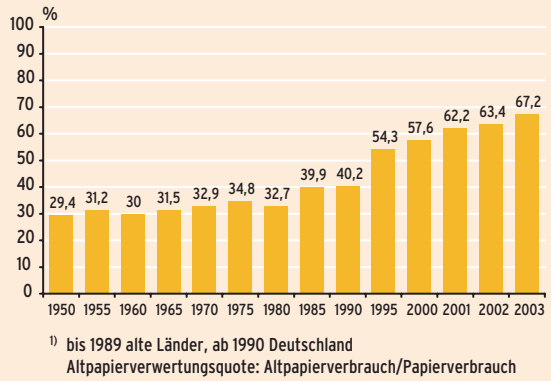
Quelle: *Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH 2005*

Tab. X 2.2-3: *Anteile ökologisch vorteilhafter Verpackungen bei pasteurisierter Konsummilch in %*

	1991	1996	2000	2001
Pasteurisierte Konsummilch insgesamt	26,27	30,60	18,90	16,00
Mehrweg	24,17	20,10	11,80	11,50
Schlauchbeutel	2,10	10,50	7,10	4,40

Quelle: *Pack Marketing GmbH 2004*

Abb. X 2.2-3: *Altpapierverwertungsquote*[1)]



1) bis 1989 alte Länder, ab 1990 Deutschland
Altpapierverwertungsquote: Altpapierverbrauch/Papierverbrauch

Quelle: *Verband Deutscher Papierfabriken e.V. 2004*

munalen Entsorgern erfasste und der Papierindustrie zugeführte oder exportierte Altpapiermenge, lag 2003 bei 13,6 Mio. t. Dies ergibt eine Altpapierrücklaufquote von 73,7 % (Tab. X 2.2-4). In der deutschen Papierindustrie wurden 12,4 Mio. t Altpapier verwertet (Abb. X 2.2-3). Die Altpapiereinsatzquote, d.h. der Altpapieranteil an der gesamten inländischen Papierproduktion (2003: 19,3 Mio. t) lag damit bei 64,5 %. Die Altpapiereinsatzquote einzelner Papiersorten, beispielsweise bei den Wellpappenrohpapieren oder bei Zeitungsdruckpapier, liegt über 100 %, da bei der Aufbereitung von Altpapier Sortierreste und alle Verunreinigungen, welche die Qualität des Neupapiers beeinträchtigen, abgeschieden werden müssen (Tab. X 2.2-5). Bei diesen Sorten sind nur noch geringe Steigerungen zu erwarten. Eine erhebliche Steigerungsmöglichkeit des Altpapiereinsatzes besteht bei den Zeitschriftenpapieren sowie Büro- und Administrationspapieren, aber auch den Hygienepapieren, was allerdings eine Nachfragesteigerung seitens der Verbraucher voraussetzt.

Durch die Steigerung des Altpapiereinsatzes ist es der deutschen Papierindustrie gelungen, die spezifischen Umweltbelastungen zu verringern. So sank beispielsweise der mittlere Energieeinsatz bezogen auf erzeugtes Papier von 3,4 MWh/t im Jahr 1990 auf 2,6 MWh/t im Jahr 2003. Absolut gesehen wurde dieser Erfolg durch die Produktionssteigerung im selben Zeitraum kompensiert: Der Gesamtenergieeinsatz stieg von 190 PJ (1990) auf 260 PJ (2003). Damit kommt einem maßvollen Papierverbrauch besondere Bedeutung für weitere positive Umwelteffekte zu.

Für das mengenmäßig wichtige Segment der grafischen Papiere – also Papiere, die für Zeitungen,

Tab. X 2.2-4: *Papiererzeugung, Papierverbrauch und Altpapierverbrauch*

		1990	2000	2003
Papiererzeugung im Inland[1)]	Tsd.t	12 773	18 182	19 310
Einfuhr	Tsd.t	6 931	9 818	9 949
Ausfuhr	Tsd.t	4 243	8 907	10 742
Papierverbrauch im Inland[1)]	Tsd.t	15 461	19 093	18 517
Altpapieraufkommen[1)]	Tsd.t	6 803	13 677	13 643
Altpapierverbrauch[1)]	Tsd.t	6 212	10 992	12 449
Altpapierrücklaufquote[2)]	%	**44,0**	**71,6**	**73,7**
Altpapiereinsatzquote[3)]	%	**48,6**	**60,4**	**64,5**
Altpapierverwertungsquote[4)]	%	**40,2**	**57,6**	**67,2**

1) geänderte Erhebungsbasis ab 1985
2) Altpapierrücklaufquote: Altpapieraufkommen/Papierverbrauch
3) Altpapiereinsatzqoute: Altpapierverbrauch/Papiererzeugung (abzügl. Verbrauch für Altpapierstoff-Export)
4) Altpapierverwertungsquote: Altpapierverbrauch/Papierverbrauch

Quelle: *Verband Deutscher Papierfabriken e.V. 2004*

Tab. X 2.2-5: *Altpapiereinsatzquoten in Deutschland in %*

	1995	2000	2003
Wellpappenrohpapiere	109	108	108
Faltschachtelkarton	81	82	77
Sonstige Verpackungspapiere und -pappen (ohne Hülsenkarton)	73	71	76
Verpackungspapiere und -pappen insgesamt	**95**	**95**	**97**
Zeitungsdruckpapier	113	117	115
Sonstige grafische Papiere einschl. Naturzeitschriftenpapier	9	18	21
Druck- und Pressepapiere, Büro- und Administrationspapiere	**33**	**37**	**43**
Hygienepapiere	**70**	**74**	**75**
Papiere und Pappen für technische und spez. Verwendungszwecke einschl. Hülsenkarton	**46**	**41**	**38**
Einsatzquote für Papier- und Pappesorten insges. [1)]	**58**	**60**	**65**

[1)] Altpapierverbrauch in % der Papier- und Pappeerzeugung (ab 1996 inkl. MarktAP-Stoff)

Quelle: *Verband Deutscher Papierfabriken e.V. 2004*

Zeitschriften, Schreib- oder Kopierpapiere verwendet werden – hat das Umweltbundesamt untersuchen lassen, welche Umweltwirkungen während des gesamten Lebensweges dieser Papiere entstehen und welche Umweltentlastungspotenziale der Einsatz von Altpapieren im Produktionsprozess bietet. Die wichtigsten Ergebnisse sind:

- Es ist wesentlich umweltverträglicher, grafische Papiere aus Altpapier herzustellen, als dafür frische Fasern aus dem Rohstoff Holz zu benutzen.
- Am Beispiel gestrichener Zeitschriftenpapiere (LWC-Papier) fällt der Vergleich zwischen altpapierhaltigem und ausschließlich auf Holz basierenden LWC-Papieren eindeutig zu Gunsten des altpapierhaltigen Produktes aus: Vorteile ergeben sich besonders in den Wirkungskategorien Naturraumbeanspruchung, Treibhauspotenzial, Knappheit fossiler Energieträger, Photooxidantienpotenzial (Sommersmog), aquatisches und terrestrisches Eutrophierungspotenzial sowie bei den Indikatoren Ökotoxizität (Giftigkeit für die Umwelt) und Humantoxizität (Giftigkeit für den Menschen).
- Es ist wesentlich umweltverträglicher, Altpapier wieder zu recyceln und daraus neues Papier herzustellen, als Altpapier zu verbrennen, um daraus Energie zu gewinnen. Altpapier auf Abfalldeponien zu beseitigen, ist aus Umweltschutzsicht die schlechteste Lösung.

Ein höheres Altpapierrecycling ist für praktisch alle betrachteten Wirkungskategorien günstiger zu bewerten: Dies betrifft die Knappheit fossiler Energieträger, Treibhauspotenzial, Sommersmog, Versauerungspotenzial und Überdüngung von Böden und Gewässern. Hervorzuheben ist der Vorteil beim Treibhauspotenzial, das eine große umweltpolitische Priorität hat. Für Altpapierrecycling spricht auch, dass mehr Holz auf den Waldflächen verbleibt und infolgedessen das Naturraumpotenzial, also der Anteil der Waldflächen, die vom Menschen weniger intensiv bewirtschaftet werden, ansteigen kann.

Verwertung von Altglas

In Deutschland wurden 2003 insgesamt 7,279 Mio. t Glas und Mineralfasern hergestellt. Zu den Haupterzeugnisgruppen zählten Behälterglas mit ca. 4,207 Mio. t und Flachglas mit 1,572 Mio. t.

Glas kann grundsätzlich beliebig oft in den Glasschmelzprozess zurückgeführt und zu neuen Produkten verarbeitet werden. Da recyceltes Glas bei niedrigeren Temperaturen als die zur Glasherstellung erforderlichen Rohstoffe schmilzt, verringert sich je Prozentpunkt Scherbenzugabe der Energiebedarf um ca. 0,2 bis 0,3 %. Altglasrecycling führt somit zu einer merklichen Reduzierung der mit dem Glasschmelzprozess verbundenen Umweltbelastungen (u.a. CO_2-Emissionen) und schont Deponieraum für Abfälle. Die in Abhängigkeit vom Altglaseinsatz erzielbare Einsparung von Rohstoffen (u.a. Quarzsand, Soda, Kalk) trägt ebenfalls zur Reduzierung der dem Produktionsprozess anrechenbaren Umweltbelastungen bei.

Produktionsausschuss wird traditionell von allen Glasproduzenten in den Glasschmelzprozess zurückgeführt. Der Einsatz von Altglas stößt dagegen in Abhängigkeit von den produktspezifischen Anforderungen an den Reinheitsgrad der Altglasscherben (u. a. Anteile an Fremdstoffen und Fehlfarben) auf technische und ökonomische Grenzen.

Behälterglas

Für jede Glasbranche bestehen spezifische Qualitätsmerkmale für schmelzfertig aufbereitete Altglasscherben. In der Behälterglas-Industrie, wo Altglas mittlerweile die wichtigste Rohstoffkomponente darstellt, darf der Anteil an Keramik, Steinen und Porzellan (KSP-Fraktion) 25 g und an Nichteisenmetallen 5 g je Tonne Recyclingglas nicht überschreiten. Weiterhin sind Grenzwerte bezüglich der Gehalte an Eisenmetallen sowie an organischen Bestandteilen (u.a. Kunststoffe und Papier) zu unterschreiten. Einen besonders hohen technischen Aufwand erfordern die Anforderungen an die Farbreinheit der Altglasscherben. Für die Herstellung von weißem Behälterglas ist bei einer Altglasscherbenzugabe von 50 % eine Farbreinheit von 99,7 % erforderlich, um eine ausreichende Produktqualität erzielen zu können. Der Fehlfarbenanteil im Braun-

glas darf die 8 %-Marke nicht überschreiten. Lediglich grünes Glas lässt einen Fehlfarbenanteil von bis zu 15 % zu. Die Aufbereitung von Behälterglas erfolgt weitestgehend vollautomatisch. Die Farbsortierung erfordert jedoch sowohl aus technischen als auch aus ökonomischen Gründen eine nach Farben getrennte Sammlung der Glasbehälter.

Eine weitere Grundvoraussetzung für die Rückführung von Behälterglas in den Schmelzprozess zur Herstellung neuer Flaschen und Gläser ist die Sortenreinheit der gesammelten Glasmengen. Hier ist eine Vorsortierung beim Verbraucher unbedingt erforderlich. Fensterglas, Autoglas, Kristallglas und vor allem hochfeuerfeste Gläser wie Laborglas, Ceran, Pyrex usw. lassen sich bei der Altglasaufbereitung nur schwer aussortieren und können zu signifikanten Produktionsausfällen oder zur Anreicherung von Schwermetallen im Behälterglaskreislauf führen, z. B. bei Bleikristallglas.

Der mittlere Scherbeneinsatz betrug 2003 bei der Herstellung von Braunglas 46 %, Weißglas 51,4 % sowie Grünglas 74 %. Die Spitzenwerte liegen bei einzelnen Schmelzwannen in Abhängigkeit von der Glasfarbe und der Schmelztechnik bei ca. 70 % (Weißglas und Braunglas) oder ca. 90 % (Grünglas).

Für Behälterglas wurde bereits im Jahr 1974 mit der Einrichtung eines flächendeckenden Sammelsystems begonnen. Es werden überwiegend Bringcontainersysteme zur farbgetrennten Erfassung von Weiß-, Braun und Grünglas eingesetzt. Die Stellplatzdichte liegt zwischen 600 bis 800 Einwohnern pro Container. Es sind über 300 000 Altglascontainer im Einsatz.

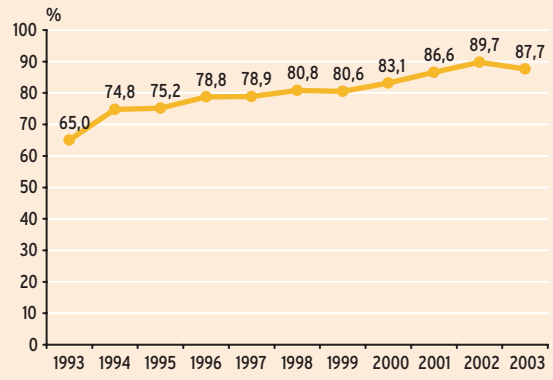
Aus deutschen Haushalten wurden 2003 pro Einwohner 27,8 kg Behälterglas eingesammelt.

Im Jahr 2003 erreichte die Behälterglasverwertung eine Quote von 87,67 % (Abb. X 2.2-4 und Tab. „Altglaserfassung und Verwertung für die deutsche Behälterglasindustrie“).

Flachglas

Für Flachglasprodukte (z. B. Bauglas, Fahrzeugglas) gelten besonders hohe Qualitätsanforderungen. Die Flachglasindustrie setzt daher überwiegend nur Eigenscherben oder sortenreine Glasscherben aus weiterverarbeitenden Betrieben ein. In den letzten Jahren wurden die Sammelsysteme zur Erfassung möglichst sortenreiner und fremdstoffarmer Flachglasprodukte besonders im weiterverarbeitenden Gewerbe ausgebaut. Altglas, das nicht den vorgegebenen Anforderungen an den Reinheitsgrad entspricht, muss einem Aufbereitungsprozess unterzogen werden. Hierfür stehen derzeit zehn Aufbereitungsanlagen zur Verfügung. Für Altglasfraktionen, die sich aus Qualitätsgründen nicht für die Floatglasherstellung eignen, bestehen Einsatzmöglichkeiten u.a. bei der Herstellung von Behälterglas, Dämmwolle, Schmirgelpapier, Schaumglas und Glasbausteinen.

Abb. X 2.2-4: *Verwertung von Behälterglas*



Quelle: *Gesellschaft für Glasrecycling und Abfallvermeidung mbH 2004*

Nach einer Schätzung des Bundesverbands „Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V.“ betrug 1998 das Aufkommen an Flachglasscherben aus dem Bau- und Fahrzeugsektor ca. 495 000 t. Davon wurden rund 300 000 t (60 %) verwertet.

Die am 1. April 1998 in Kraft getretene Altautoverordnung hatte sich mengenmäßig nicht auf die Verwertungsquote von Altglas aus dem Automobilsektor ausgewirkt, da die Verordnung keine Ausbau- oder Recyclingpflicht für Glas enthielt. Der überwiegende Teil des bei der Autoverschrottung anfallenden Altglaspotenzials wurde nach wie vor zusammen mit der beim Shreddern anfallenden Leichtstofffraktion entsorgt.

Mit der EU-Altfahrzeugrichtlinie von 2000 wurden Änderungen der Altautoverordnung notwendig. Die geänderte Verordnung – jetzt Altfahrzeugverordnung – enthält Ausbau und Recyclingverpflichtungen nach Maßgabe der EU-Richtlinie. Danach ist Glas grundsätzlich auszubauen und dem Recycling zuzuführen.

In ihrer 81. Sitzung beschloss die Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) jedoch, dass diese Anforderung als erfüllt gelte, sofern ab 2006 die Gesamtrecyclingquoten der Richtlinie und der Verordnung erfüllt werden. Diese weitgefasste Interpretation des Verordnungstextes führt in der Praxis dazu, dass die Anforderung an die Demontagebetriebe, Glas dem Recycling zuzuführen, nicht vollzogen wird.

Laut bvse (Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V.) ist das Flachglasangebot aus Demontagebetrieben seit dem LAGA- Beschluss weiter zurückgegangen. Im Jahr 2002 gelangten von rund 75 000 t Glas aus der Altfahrzeugentsorgung nur ca. 5 000 t (7 %) ins Recycling. Auch angesichts der stagnierenden Baukonjunktur können damit die vorhandenen Anlagen zur Aufbereitung von gebrauchten Flachglasprodukten zu Ofenscherben nicht ausgelastet werden, obwohl ein entsprechender Rohstoffbedarf in der Glasindustrie besteht.

Bildröhrenglas

Pro Jahr werden zwischen 5–6 Mio. Farbfernsehgeräte verkauft. Hinzu kommen Farbmonitore.

Die durchschnittliche Gebrauchsdauer von Fernsehgeräten liegt bei 10 bis 12 Jahren.

Den Hauptanteil am Gesamtgewicht von Fernsehgeräten oder Monitoren bildet die Bildröhre (Kathodenstrahlröhre), die im Wesentlichen aus Glas besteht.

In der EU werden jährlich ca. 525 000 t Bildröhrenglas zur Herstellung von Monitoren und Fernsehbildröhren produziert. In Deutschland sind drei Glashersteller auf diesem Spezialglassektor tätig. Sie verfügen über einen Marktanteil von ca. 69 %.

Farbbildröhren bestehen aus vier verschiedenen Glassorten:

- *Schirmglas*, auch Frontglas genannt, Hauptbestandteil einer Farbbildröhre. Schirmglas ist ein Barium-Strontiumsilicatglas (8–13 % BaO; 2,2–8.8 % SrO). Ferner ist in der Glaszusammensetzung Antimon enthalten (0,2 bis 0,6 % Sb_2O_3).
- *Konusglas*, auch Trichterglas genannt, mit hohem Bleioxidgehalt (20 bis 24 %, je nach Produktionsjahr und Herkunft der Bildröhre). In neueren Geräten ist mit geringem Anteil von Strontium und Barium zu rechnen.
- *Röhrenhalsglas* ist ein Bleiglas (28 bis 30 % Bleioxid).
- *Glasfritte*; Schirmglas und Trichterglas sind mit einer Glasfritte auf Bleiboratbasis verbunden (ca. 80 % PbO).

Mengenmäßig sind im Hinblick auf das Recycling nur Schirm- und Konusglas besonders relevant. Das Gewichtsverhältnis dieser beiden Glassorten beträgt in einer Bildröhre ungefähr 2/3 zu 1/3. Bildröhren wiegen zwischen 5 und 20 kg.

Mit der Veröffentlichung im Amtsblatt der Europäischen Union vom 13.02.2003 ist die Richtlinie 2002/96/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 27. Januar 2003 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (WEEE) in Kraft getreten. Die Richtlinie legt unter anderem für Elektro- und Elektronik-Altgeräte, die Kathodenstrahlröhren enthalten, die minimale Verwertungsquote von 75 % des durchschnittlichen Gewichtes je Gerät fest. Die Wiederverwendungs- und Recyclingquote für Bauteile, Werkstoffe und Stoffe muss mindestens 65 % des durchschnittlichen Gewichts je Geräte erreichen. Die fluoreszierende Beschichtung ist zu entfernen. Die nationale Umsetzung der EG-Richtlinie wird in einer Rechtsverordnung des Bundes erfolgen.

Die umweltgerechte Verwertung von alten Bildröhren wirft derzeit noch Probleme auf. Die für die Bildröhrenglasproduktion zur Verfügung stehenden Kapazitäten für den Einsatz von Altglasmengen sind wegen der hohen Anforderungen an die aufbereiteten Altglasscherben noch nicht ausgeschöpft. Bei einem geschätzten jährlichen Altglasaufkommen in Europa von ca. 500 000 bis 700 000 t wurden im Jahr 2003 in Deutschland nur ca. 30 000 t Altglasscherben, in erster Linie zur Herstellung von Konusglas, eingesetzt.

Die Rückführung von Altglasscherben in den Schmelzprozess bringt Vorteile bei der Reduzierung des Schmelzenergiebedarfs und senkt den Verbrauch von Bleioxid erheblich.

Durch den Einsatz verbesserter Sortieranlagentechnik soll mittelfristig eine deutliche Steigerung der Einsatzmengen von Altglas sowohl zur Herstellung von Konusglas als auch zur Herstellung von Schirmglas erreicht werden.

Bei einer Verwertungsmaßnahme außerhalb der Bildröhrenproduktion ist besonders wegen der hohen Bleigehalte im Konusglas darauf zu achten, dass eine diffuse Verteilung von Schwermetallen in Produkte und eine Kontamination von normalerweise schwermetallfreien Produkten und Materialkreisläufen durch Bildröhrenglas vermieden wird, da eine Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit sowohl bei der Verwendung des Produktes (Verwendungsrisiko) als auch bei der Entsorgung der Produkte nach Abschluss der Verwendung (Entsorgungsrisiko) grundsätzlich nicht ausgeschlossen werden kann.

Entladungslampen

Derzeit werden in Deutschland rund 100 Millionen Entladungslampen eingesetzt. Die besondere Umweltrelevanz liegt im Quecksilbergehalt der Entladungslampen.

Quecksilbergehalt in gebrauchten Entladungslampen:

- stabförmige Standard-Leuchtstofflampen < 15,0 mg
- stabförmige Einschicht-Dreibanden-Leuchtstofflampen < 7,5 mg
- Kompaktleuchtstofflampen < 7,0 mg
- Hochdruck- Entladungslampen < 30,0 mg
- Spezialstrahler 1,5 g

Durch die neue EU- Richtlinie über Elektro- und Elektronik-Altgeräte wird auch für Entladungslampen ein einheitliches Entsorgungsniveau angestrebt (Verwertungsquote mindestens 80 % des durchschnittlichen Gewichts der Lampen).

Für die Aufbereitung von stabförmigen Entladungslampen wird in erster Linie das Kappen-Trenn-Verfahren eingesetzt. Es ermöglicht eine weitgehend saubere Trennung von Glas, Metallen und Leuchtstoffen.

Kompaktleuchtstofflampen und nicht stabförmige Leuchtstofflampen (ring- und u-förmig) werden durch Schredder-Verfahren zerlegt. Die Qualität der aufbereiteten Glasscherben aus Schredderverfahren reicht in der Regel für die Herstellung von neuem Lampenglas nicht aus.

Die in der Arbeitsgemeinschaft Lampenverwertung (AGLV) beim Zentralverband Elektrotechnik und Elektroindustrie (ZVEI) e. V. zusammengeschlossenen Unternehmen verarbeiten jährlich ca. 30 Millionen gebrauchte Entladungslampen.

Die Umweltverträglichkeit der Verwertungsprozesse und der Nachweis der Stoffströme wird bei den Mitgliedsfirmen durch ein Prüf- und Zertifizierungsverfahren überwacht. Mengenstromnachweise wurden aber bislang noch nicht veröffentlicht.

Nach Auskunft von Lampenglasherstellern werden die vorhandenen Verwertungskapazitäten in der Lampenglasproduktion bei weitem nicht ausgeschöpft.

Bei allen Verwertungsoptionen ist zu beachten, dass Leuchtstofflampenglas durch Diffusionsvorgänge während der Gebrauchsphase Quecksilber aufnimmt und je nach Aufbereitungsqualität quecksilberhaltige Stäube an den Glasscherben verbleiben.

Das Quecksilber kann zum Beispiel bei der Lagerung durch Einwirkung saurer Medien oder beim Aufschmelzen unkontrolliert in die Umwelt freigesetzt werden.

Der Quecksilbergehalt im aufbereiteten Glas gebrauchter Leuchtstofflampen liegt in der Regel zwischen 4 und 6 mg/kg Glas.

Glasscherben aus der Aufbereitung von Lampenausschuss im Herstellerwerk weisen einen Hg-Gehalt von ca. 1 mg/kg auf.

Vor diesem Hintergrund sollte Lampenglas nur in immissionsschutzrechtlich kontrollierten Prozessen Verwendung finden. Nach Nr. 5.2.2 der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft -TA Luft- vom 24. Juli 2002 dürfen die Emissionen an Quecksilber (Klasse I) im Abgas den Massenstrom von 0,25 g/h oder die Massenkonzentration von 0,05 mg/m^3 nicht überschreiten.

In naher Zukunft wird der Quecksilbergehalt in Leuchtstofflampen weiter sinken. Die Richtlinie 2002/95/EG des europäischen Parlamentes und des Rates vom 27. Januar 2003 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten schreibt folgende Höchstmengen für Quecksilber pro Lampe vor:

- Kompaktleuchtstofflampen: 5 mg
- Stabförmige Leuchtstofflampen (für allgemeine Verwendungszwecke)
  - Halophosphat: 10 mg
  - Triphosphat mit normaler Lebensdauer: 5 mg
  - Triphosphat mit langer Lebensdauer: 8 mg

Aufkommen und Entsorgung von Kunststoffabfällen

In Deutschland, einem der größten Kunststoffproduzenten der Welt, wurden 2003 etwa 10,6 Mio. t Kunststoffe verarbeitet. Über 60 % aller verarbeiteten Kunststoffe entfielen auf die Thermoplaste

- Polyethylen PE (2,74 Mio. t),
- Polyvinylchlorid PVC (1,59 Mio. t),
- Polypropylen PP (1,72 Mio. t) und
- Polystyrol PS (0,42 Mio. t).

Etwa 15 % der verarbeiteten Gesamtmenge waren andere Thermoplaste, wie beispielsweise Polyamid (PA), Polycarbonat (PC), Styrol-Copolymere (ABS, SAN) oder Polyethylenterephthalat (PET), und knapp 25 % waren Duroplaste. Die höchste Wachstumsrate im Vergleich zu 2001 erzielte PET.

Größter Einsatzbereich für Kunststoffe waren erneut die Verpackungen. Hier wurden 33 % (2001: 29,5 %) der in Deutschland verarbeiteten Kunststoffe eingesetzt. Der Bausektor belegt nach wie vor mit 23,5 % (2001: 24,5 %) den zweiten Rang. Weitere wesentliche Einsatzbereiche waren die Segmente Fahrzeugindustrie mit 9 % (2001: 9 %) und Elektro/Elektronik

mit 7,5 % (2001: 7,5 %). Diese vier Bereiche verbrauchten damit zusammen über 70 % der eingesetzten Kunststoffe.

Kunststoffabfälle entstehen bei der Erzeugung der Kunststoff-Formmassen, bei deren Verarbeitung zu Halbzeugen und Fertigerzeugnissen und nach der Nutzung dieser Produkte. Insgesamt fielen 2003 in Deutschland etwa 4 Mio. t Kunststoffabfälle an. Davon entfielen allein 1,42 Mio. t auf PE, 0,49 Mio. t auf PVC und 0,43 Mio. t auf PP. Rund 2,34 Mio. t Kunststoffabfälle wurden verwertet, 1,67 Mio. t durch Deponierung oder Verbrennung beseitigt. Die Gesamtverwertungsquote betrug damit über 58 % (Tab. X 2.2-6).

Tab. X 2.2-6: *Aufkommens- und Verwertungsmengen von Kunststoffabfällen nach Verursacherbereichen 2003*

	Abfallaufkommen in 1 000 t	Verwertungsmenge in 1 000 t	Verwertungsquote in %
Kunststofferzeugung	86	81	94,2
Kunststoffverarbeitung	802	710	88,5
gewerblicher Endverbrauch	1 402	714	50,9
privater Endverbrauch	1 715	833	48,6
Insgesamt	**4 005**	**2 338**	**58,4**

Quelle: *CONSULTIC Marketing & Industrieberatung GmbH 2004*

Die Abfallverwertungsquoten in den einzelnen Verursacherbereichen differierten stark voneinander. Bei der Kunststoff-Erzeugung und -verarbeitung lag die Abfallverwertungsrate bei 94 % bzw. 89 %. Post-consumer-Abfälle aus dem gewerblichen Endverbrauch und den Haushalten wurden dagegen nur zu jeweils etwa 50 % verwertet. Der große Unterschied zwischen den Verwertungsraten ist in erster Linie auf den höheren Verschmutzungs- und Vermischungsgrad von Post-consumer-Abfällen zurückzuführen.

94 % der insgesamt in Deutschland beseitigten 1,67 Mio. t Kunststoffabfälle stammten 2003 aus den beiden Anfallbereichen des gewerblichen und privaten Endverbrauchs. Aus Umweltschutzsicht ist es trotz der durch verunreinigte Kunststoffabfälle verursachten Aufbereitungs- und Verwertungsschwierigkeiten deshalb angezeigt, geeignete Altkunststoffströme aus dem Restmüll „abzuschöpfen“ und einer möglichst hochwertigen werkstofflichen Verwertung zuzuführen (Tab. „Verwertungs- und Beseitigungsmengen von Kunststoffabfällen aus dem Post-consumer-Bereich“).

Auswertung von Abfallbilanzen der Bundesländer nach getrennt erfassten Elektro- und Elektronikaltgeräten aus privaten Haushalten

Elektro- und Elektronik-Altgeräte umfassen Produkte mit sehr unterschiedlichen Nutzungsdauern, weit auseinanderklaffenden Anschaffungspreisen und sehr unterschiedlichen Nutzungsprofilen. Aus Umweltschutzsicht stellt diese große Produktpalette ein schwer kalkulierbares Gemisch von Schad- und Wertstoffen dar. Besonders schadstoffhaltige Bauteile sind z.B. Quecksilberschalter, PCB-haltige Kondensatoren, Bildschirme, FCKW-haltige PUR-Schäume, Leiterplatten.

Eine ordnungsgemäße Entsorgung der Elektro- und Elektronik-Altgeräte besteht u. a. in der Entfrachtung der Geräte von den schadstoffhaltigen Teilen und in der Gewinnung von Wertstofffraktionen wie z.B. Edelmetallen, Metallen, reinen Kunststofffraktionen.

Die Europäische Union hat mit dem Ziel einer Verringerung der Umweltbelastung durch Elektro- und Elektronik-Altgeräte in Produktverantwortung der Hersteller im Januar 2003 zwei Richtlinien erlassen.

Die europäische Richtlinie über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (WEEE) [1] wurde am 27.1.2003 beschlossen und durch Veröffentlichung im Amtsblatt der Europäischen Union am 13.2.2003 rechtskräftig. Alle Mitgliedstaaten haben diese Richtlinie innerhalb von 18 Monaten in nationales Recht umzusetzen. Wesentliche Inhalte der Richtlinie sind:

- die getrennte Sammlung, Behandlung und Verwertung von Elektro- und Elektronikaltgeräten sowie die Festlegung von Sammelzielen und Verwertungsquoten,
- die kostenlose Rückgabemöglichkeit für private Haushalte und Vertreiber,
- die Übernahme der Produktverantwortung für die Behandlung, Verwertung und umweltgerechte Beseitigung der Geräte durch die Hersteller.

Die Richtlinie setzt dabei folgende Eckpunkte, die zum 31.12.2006 zu erfüllen sind:

- Die Geräte sind insgesamt 10 Kategorien zugeteilt, wobei je Kategorie zum o.g. Termin bestimmte Recycling- und Verwertungsquoten zu erbringen sind:
  - Große Haushaltsgeräte (Kühlschränke, Waschmaschinen etc.),
  - Kleine Haushaltsgeräte (Toaster, Uhren etc.),
  - IT- und Telekommunikationsgeräte (Computer, Drucker, Telefone etc.),

- Unterhaltungselektronik (Fernsehgeräte, Hi-Fi-Anlagen etc.),
- Beleuchtungskörper (Leuchtstoffröhren, Energiesparlampen, Natriumdampflampen etc.; ausgenommen sind Wohnraumleuchten und Glühbirnen),
- Elektrische und elektronische Werkzeuge (Bohrer, Nähmaschinen etc.),
- Spielzeug, Freizeit- und Sportgeräte (Elektrische Eisenbahnen, Videospiele, Spielautomaten etc.),
- Medizinische Geräte (z.B. Dialysegeräte),
- Überwachungs- und Kontrollinstrumente (z.B. Rauchmelder, Thermostate),
- Automatische Ausgabegeräte (z.B. Getränkeautomaten).

• Für Altgeräte aus privaten Haushalten sind mindestens durchschnittlich 4 kg je Einwohner und Jahr getrennt zu erfassen (Sammelquote für Geräte aus privaten Haushalten).

Der Wiederverwendung [2] ganzer Geräte ist der Vorzug zu geben. Für alle nicht wiederverwendeten Geräte müssen bis zum 31. Dezember 2006 je nach Kategorie Verwertungsquoten [3] zwischen 70 und 80 % und Recyclingquoten [4] zwischen 50 und 80 % erreicht sein. Weiterhin sind konkrete schadstoffreduzierende Behandlungsmaßnamen der Altgeräte, z. B. Ausbau der Bildröhren aus Fernsehgeräten oder Separierung der bromierten Kunststoffteile, durchzuführen (näheres hierzu siehe im Beitrag „Verwertung von Altglas“).

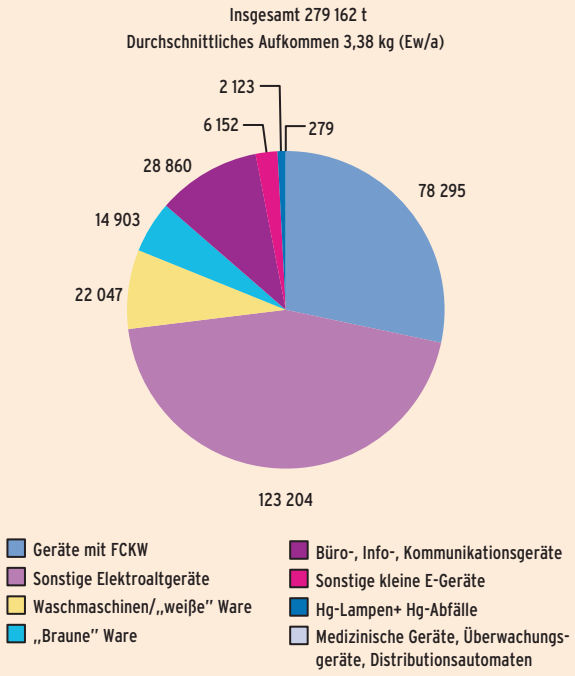
Ergänzend regelt die Richtlinie 2002/95/EG zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten (ROHS) [5] den Einsatz bestimmter Schwermetalle und Chemikalien in ab dem 01. Juli 2006 neu in den Verkehr gebrachten Elektro- und Elektronikgeräten.

Nach dem Elektro- und Elektronikgerätegesetz [6] sollen Verbraucher ihre ausgedienten Elektro- und Elektronikgeräte künftig kostenlos bei kommunalen Sammelstellen zurückgeben können. Die Verantwortung der Hersteller beginnt mit der Abholung der Altgeräte an diesen Sammelstellen. Übernahme der Verantwortung heißt, dass die Hersteller für die Behandlung und Verwertung von Altgeräten sorgen und die Verwertungs- und Recycling-Anforderungen erfüllen.

Vor diesem Hintergrund wurden die Abfallbilanzen aller Bundesländer unter dem Aspekt „Getrennt erfasste Elektroaltgeräte“ ausgewertet. Mit dem Ziel der Aktualisierung wurden alle Bundesländer im Februar 2004 außerdem um aktuelle Angaben über getrennt erfasste Altgeräte gebeten. Die ermittelten Mengen können nur die Größenordnung der bisher getrennt erfassten Altgeräte verdeutlichen, da keinesfalls eine statistisch abgesicherte Datengrundlage aggregiert werden konnte. Weiterhin sind durch andere Rücknahmestellen (Handel, Hersteller ...) getrennt erfasste Elektroaltgeräte nicht getrennt ermittelbar.

Die Abb. X 2.2-5 „Erfasstes Abfallaufkommen an Elektroaltgeräten in Deutschland 2002“ enthält die Summe der Angaben aus den Abfallbilanzen der Bundesländer für Deutschland. Die vollständige Auswertung der vorliegenden Unterlagen ist der Tab. „Erfasstes Abfallaufkommen an Elektroaltgeräten aus Abfallbilanzen der Bundesländer“ zu entnehmen. Bei der Auswertung sind vielfältige Probleme aufgetreten:

Abb. X 2.2-5: *Erfasstes Abfallaufkommen an Elektroaltgeräten 2002 in t*



Quelle: *Umweltbundesamt; IFEU-Institut 2003*

- Die Datenerfassung erfolgt in den Ländern sehr unterschiedlich. Selbst FCKW-haltige Kühlgeräte sind nicht immer eindeutig in den Abfallbilanzen zu identifizieren. Die Mengen von über Sperrmüll erfassten Altgeräten sind partiell nicht klar ausgewiesen.
- Die Datentiefe nach Gerätegruppen ist ebenfalls unterschiedlich.
- Die Mengenerfassung in den Abfallbilanzen erfolgt zum Teil in Tonnage, zum Teil nach Stückzahl, teilweise wird auf Basis ermittelter Durchschnittsgewichte in Tonnage umgerechnet. Wenn in den Bilanzen Stückzahl angegeben wurden, erfolgte die Umrechnung in Mengen durch Verwendung von fiktiven Annahmen.

Außerdem wird darauf hingewiesen, dass die getrennt erfassten Mengen aus privaten Haushalten nicht mit getrennt behandelten Mengen gleichzusetzen sind. Über die insgesamt erfassten und der Verwertung zugeführten Altgeräte aus privaten und nicht privaten Haushalten liegen keine Angaben vor.

Insgesamt berechtigt die Datenlage nicht, statistisch gesicherte Aussagen zu treffen.

Gegenüber dieser gegenwärtigen ungünstigen Datenlage werden zukünftig folgende Daten über die Erfassung der Altgeräte erhoben werden müssen:

- Getrennt erfasste Altgeräte aus privaten Haushalten
- Summe aus privaten und nicht privaten Haushalten getrennt erfasste Menge Altgeräte je Kategorie.

Das Umweltbundesamt hat zur Vorbereitung der Berichterstattungspflichten der Bundesregierung und der Dokumentation der Quoten ein Forschungsprojekt [7] gefördert, wonach die Grundstrukturen eines Monitoringsystems zu entwickeln sind.

Weitere Informationen zur WEEE und ROHS und zum Elektro- und Elektronikgerätegesetz sind zu finden unter http://www.bmu.de.

[1] Richtlinie 2002/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 2003 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (WEEE)

[2] Mit „Wiederverwendung“ werden Maßnahmen bezeichnet, bei denen die Elektro- und Elektronik-Altgeräte oder deren Bauteile zu dem gleichen Zweck verwendet werden, für den sie entworfen wurden, einschließlich der weiteren Nutzung von Geräten oder ihren Bauteilen, die zu Rücknahmestellen, Vertreibern, Recyclingbetrieben oder Herstellern gebracht werden (Richtlinie 2002/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 2003 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte, Art. 3 (d))

[3] Unter „Verwertung“ fallen die anwendbaren Verfahren nach Anhang IIB der Richtlinie 75/442/EWG (Richtlinie 2002/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 2003 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte, Art. 3 (f))

[4] Mit „Recycling“ wird die in einem Produktionsprozess erfolgende Wiederaufarbeitung der Abfallmaterialien für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke, jedoch unter Ausschluss der energetischen Verwertung, das heißt der Verwendung von brennbarem Abfall zur Energieerzeugung durch direkte Verbrennung mit oder ohne Abfall anderer Art, aber mit Rückgewinnung der Wärme bezeichnet (Richtlinie 2002/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 2003 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte, Art. 3 (e))

[5] Richtlinie 2002/95/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 2003 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten (ROHS)

[6] Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgesetz – ElektroG) vom 16. März 2005, BGBl. I, Nr. 17 vom 23. März 2005

[7] Ermittlung von Verwertungskoeffizienten für die Fraktionen und Bauteile zur Dokumentation von Quoten auf der Basis von Artikel 7 der EU – Richtlinie zur Verwertung von Elektroaltgeräten (WEEE), UBA Texte 51/04, Berlin 2004 (kostenlos) (http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/dateien/2825.htm)

Batterierücknahme und -verwertung

Batteriemarkt

In der Bundesrepublik Deutschland werden jährlich mehr als 1 Milliarde Batterien und Akkumulatoren in Verkehr gebracht. Dies entspricht einer Masse von mehr als 30 000 t pro Jahr. Die Anzahl der Starterbatterien (Akkumulatoren) beträgt ca. 14 Millionen.

Von den in Deutschland in Verkehr gebrachten Primärbatterien werden rd. 70 % importiert, größtenteils durch die Herstellerfirmen selbst. Die verbleibenden 30 % werden in Deutschland von einem Hersteller produziert. Insgesamt werden etwa 85 % der in den Markt gebrachten Primärbatterien von nur vier Herstellern importiert oder erzeugt.

Der deutsche Markt für wiederaufladbare Batterien (Sekundärbatterien) ist hinsichtlich der Lieferfirmen wesentlich differenzierter. Neben acht größeren Lieferanten, die zusammen einen Marktanteil von ca. 70 % repräsentieren, ist der Anteil der größtenteils schwer oder nicht zu identifizierenden sonstigen Lieferanten sehr hoch. Der Importanteil dieser Batterien beträgt 84 %. Lediglich 16 % werden in Deutschland hergestellt.

Batterierücknahme und -verwertung

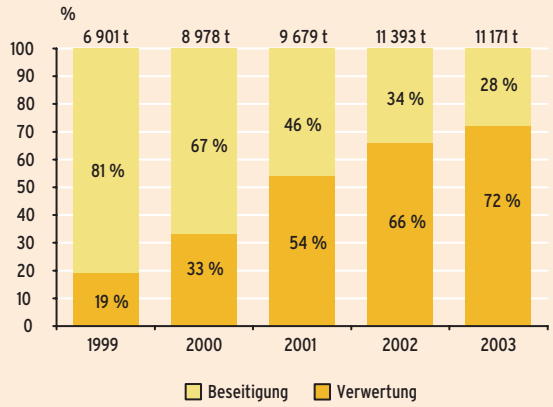
Die Batterieverordnung [1] ist am 01.10.1998 in Kraft getreten. Im Jahr 2003 wurden durch die Stiftung Gemeinsames Rücknahmesystem Batterien (GRS Batterien) 11 557 t Geräte-Batterien zurückgenommen.

Der Verwertungsanteil, der im Jahr 1999 noch bei 19 % lag, konnte bis 2003 auf 72 % gesteigert werden. Damit wurden 8 039 t Batterien verwertet. 3 132 t Batterien, vor allem unsortierbare Batteriegemische und nicht-UV-codierte AlMn-Batterien, waren auf Sonderabfalldeponien zu beseitigen. (Abb. X 2.2-6)

Durch die Erste Verordnung zur Änderung der Batterieverordnung wurde die EU-Richtlinie 98/101/EG in nationales Recht umgesetzt. In der Folge sinkt der Quecksilbergehalt der Batterien. Dadurch wurden die Verwertungsmöglichkeiten der Altbatterien wesentlich verbessert.

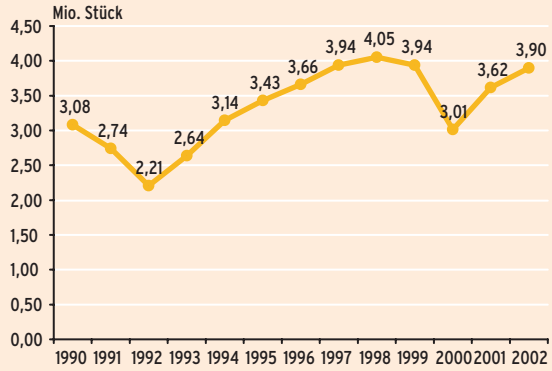
Die Rücklauf- und Recyclingquote bei Starterbatterien beträgt nahezu 100 %.

Abb. X 2.2-6: *Anteil verwerteter Batterien an der Batterieentsorgung*



Quelle: *Stiftung Gemeinsames Rücknahmesystem Batterien 2004*

Abb. X 2.2-7: *Entwicklung der Fahrzeuglöschungen*



Quelle: *Kraftfahrt-Bundesamt 2003*

[1] BattV – Batterieverordnung (Verordnung über die Rücknahme und Entsorgung gebrauchter Batterien und Akkumulatoren) In der Fassung der Bekanntmachung vom 2. Juli 2001 (BGBl. I S. 1486, geändert durch Gesetz vom 9.9.2001, BGBl. I S. 2331)

Altfahrzeugaufkommen und -verwertung

Das Aufkommen von Altfahrzeugen, die in Deutschland zur Entsorgung anstehen, ist nicht exakt bekannt. In der amtlichen Abfallstatistik wird diese Abfallart bisher nur sehr unzureichend erfasst. Eine wichtige Datengrundlage für die Schätzung des Abfallaufkommens stellt die Statistik des Kraftfahrt-Bundesamtes dar, in der jährlich Zulassungen und Löschungen nach sieben Fahrzeuggruppen gemeldet werden. Nach Angaben des Kraftfahrt-Bundesamtes sind die wesentlichen Gründe für die endgültige Stilllegung von Kraftfahrzeugen die Verschrottung und die Ausfuhr ins Ausland.

Da die Gründe der Letztbesitzer für die endgültige Stilllegung nicht erfasst werden, ist eine Aussage zum Anteil der zu entsorgenden Fahrzeuge nur schwer möglich. Vor allem bei den Nutzfahrzeugen wird der Anteil der Gebrauchtfahrzeugexporte als sehr hoch eingeschätzt. Wegen der unzureichenden Datenlage kann der Anteil der als Gebrauchtfahrzeuge ausgeführten Pkw derzeit nicht exakt bestimmt werden. Schätzungen ergeben, dass ca. 30–50 % der gelöschten Pkw zur Verwertung in Deutschland verbleiben.

Als Leitindikator für das Aufkommen von Altfahrzeugen wird hier dennoch die Zahl der Fahrzeuglöschungen beim Kraftfahrt-Bundesamt dokumentiert (Abb. X 2.2-7).

Der Monitoringbericht der – inzwischen aufgelösten – Arbeitsgemeinschaft Altauto für den Berichtszeitraum 1. April 1998 bis 31. März 2000 schätzte das Altfahrzeug-Aufkommen in Deutschland für den Zeitraum 1997 bis 1999 auf rd. 1,1–1,7 Mio. Einheiten pro Jahr. Der letztendlich zu beseitigende Gewichtsanteil eines Altautos wurde von der ARGE-Altauto auf 18–22 % geschätzt, bezogen auf das Kfz-Briefgewicht entsprechend 100 %.

Diese beiden Trends haben einen gegenläufigen Einfluss. Die Zulassungen steigen: So ist beispielsweise die Zahl der jährlich neu zugelassenen Pkw zwischen 1987 und 1998 von rund 2,9 Mio. auf etwa 3,7 Mio. und die der Lkw von 120 auf 237 Tausend Fahrzeuge gestiegen. Entsprechend steigen auch zeitversetzt die Abmeldungen, was grundsätzlich das Altfahrzeugaufkommen steigert. Andererseits senken jedoch ebenfalls steigende Gebrauchtwagenexporte das Aufkommen wieder. Zuverlässige Prognosen sind daher nicht verfügbar. Aktuelle Daten zu den jährlichen Neuzulassungen und Löschungen finden sich beim Kraftfahrzeugbundesamt (KBA).

Zukünftig wird sich die Datenlage bezüglich Aufkommen und Verwertung von Altfahrzeugen deutlich verbessern. 2004 fand erstmalig im Rahmen des Umweltstatistikgesetzes eine Erhebung der Altfahrzeugannahme und Verwertung bei Demontagebetrieben statt. Die Erhebung bei Schreddern wurde verfeinert und auf die Ermittlung von Zahlen zur Fahrzeugverwertung abgestimmt.

EU-Altfahrzeug-Richtlinie (2000/53/EG) und deutsche Altfahrzeugverordnung fordern ab 2006 eine Verwertungsquote (inklusive energetische Verwertung) von 85 % des Leergewichts und eine Recyclingquote von 80 %. Diese Quoten beziehen sich auf das Gesamtaufkommen, sie müssen nicht für jedes einzelne Fahrzeug erreicht werden.

Die Rückgewinnung und Verwertung der metallischen Anteile von Altfahrzeugen gelingt durch die

sehr effektive Abtrennung im Schredder und bei den nachfolgenden Sortierschritten (Magnetscheider, Wirbelstromscheider, Schwimm-Sink-Anlagen) zu fast 100 %.

Hauptprobleme bei der Altfahrzeugverwertung sind hingegen derzeit die Verwertung von Kunststoffen, Glas und der nach beim Schredderprozess anfallenden Schredderleichtfraktion (SLF), die etwa 25 % des ursprünglichen Fahrzeuggewichtes ausmacht.

Kunststoffe und Glas können grundsätzlich recycelt werden, problematisch ist hier der notwendige Aufwand für Demontage und Sortierung. Kapazitäten für die Verwertung von Glas aus Altfahrzeugen stehen zur Verfügung, auch für ausgebaute Kunststoffteile sind in Deutschland im Prinzip hinreichende Verwertungskapazitäten vorhanden. Altfahrzeugrichtlinie und Altfahrzeugverordnung fordern den Ausbau von Glas und von großen Kunststoffteilen zur stofflichen Verwertung.

Der Vollzug dieser Regelungen wurde jedoch durch einen Beschluss der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) auf ihrer 81. Sitzung im September 2003 bis zum 31.12.2005 ausgesetzt. Danach sind diese Anforderungen als erfüllt zu betrachten, wenn ab 2006 die geforderten Quoten eingehalten werden. Bis 2006 muss daher entweder der Ausbau von Glas und Kunststoff oder die hochwertige Verwertung des nicht-metallischen Schredderoutputs stark forciert werden. Letzterer wird derzeit meist noch beseitigt.

Für die Aufbereitung oder Verwertung der SLF sind im Prinzip mechanische Sortierverfahren oder die energetische Verwertung möglich. An verschiedenen mechanischen Verfahren wird derzeit gearbeitet. Diese Verfahren beruhen auf der Trennung in verschiedene Stoffströme, mit unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten (z.B. Reduktionsmittel für Hochöfen, Hilfsmittel zur Klärschlammtrocknung oder mineralische weitgehend inerte Reste zum Bergversatz). Auch die Abtrennung von Restmetallgehalten wird optimiert. Ein Beispiel hierfür ist das so genannte VW-Sicon-Verfahren, dass in Deutschland jedoch bisher nicht zum Einsatz kommt.

Das einzige in Deutschland derzeit (02/2004) großtechnisch verwirklichte Verwertungsverfahren ist die Synthesegasherstellung im Sekundärrohstoffverwertungszentrum (SVZ) Schwarze Pumpe.

Verwertung von Bauabfällen

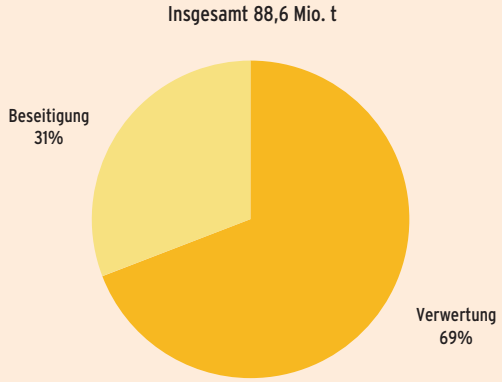
Bauabfälle machen die mengenmäßig bedeutsamste Abfallgruppe aus (Kap. X 1.1).

Die in der Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau (KWTB) e.V. zusammengeschlossenen Verbände des Baugewerbes, der Architekten und Ingenieure, der Abbruchunternehmen und der Baustoffaufbereiter haben bereits 1996 in einer Freiwilligen Selbstverpflichtungserklärung zugesagt, die Ablagerung von verwertbaren Bauabfällen (ohne Bodenaushub) gegenüber dem Stand von 1995 bis zum Jahre 2005 auf die Hälfte zu reduzieren.

Die KWTB hat dem Bundesumweltministerium im November 2003 den 3. Monitoring-Bericht zur Freiwilligen Selbstverpflichtung der Bauindustrie (Berichtszeitraum 1999 bis 2000) übergeben.

Demnach fielen im Berichtszeitraum 1999/2000 rd. 89 Mio. t Bauabfälle (ohne Bodenaushub) an, von denen rd. 61 Mio. t (69 %) verwertet und rd. 27 Mio. t (31 %) beseitigt, das heißt abgelagert wurden (Abb. X 2.2-8).

Abb. X 2.2-8: *Aufkommen und Entsorgung von Bauabfällen[1)] 2000*



[1)] Bauschutt, Straßenaufbruch, Baustellenabfälle (ohne Bodenaushub)

Quelle: *Arbeitgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau 2003*

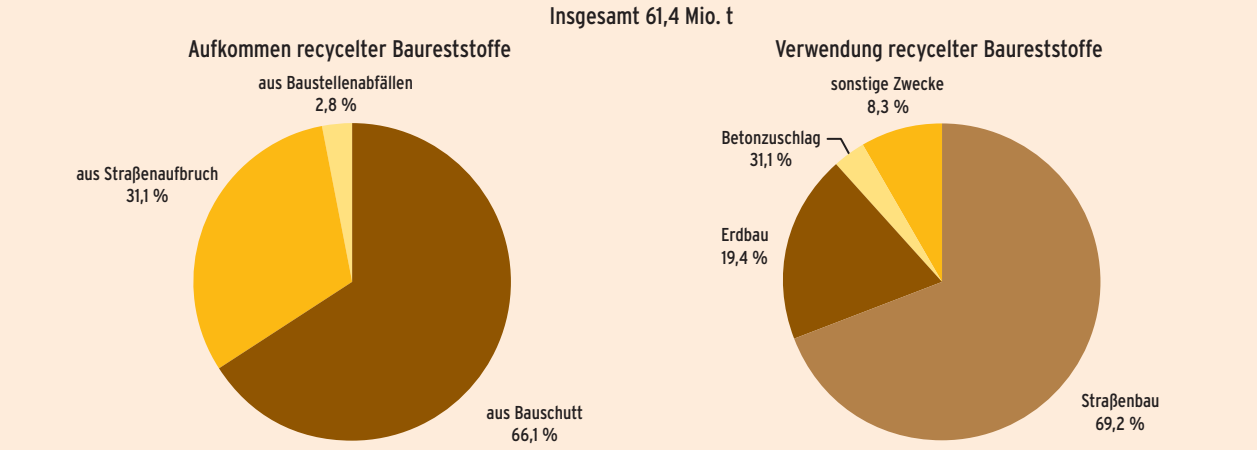
Die verwerteten Mengen finden überwiegend im Straßenbau Verwendung (Abb. X 2.2-9).

Der Kreislaufwirtschaftsträger Bau strebt eine weitere Minimierung des Anfalls von Baustellenabfällen durch vorgeschaltete Trennung auf den Baustellen in die Wertstofffraktionen an.

Darüber hinaus kommt es für die Abbruch-, Bau- und Recyclingwirtschaft darauf an, innovative Abbruch- und Aufbereitungstechniken zu entwickeln, die einen möglichst hohen Verwertungsgrad für einen möglichst gleichwertigen Einsatzzweck im Sinne einer nachhaltigen Bauwirtschaft sicherstellen.

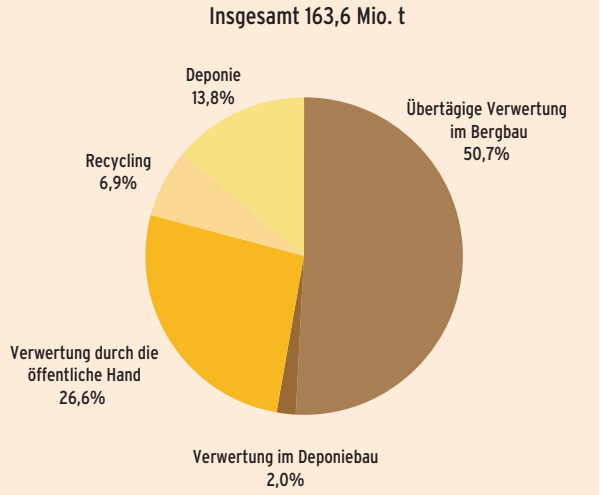
Bodenaushub und Steine wurden im Jahr 2000 ebenfalls zum größten Teil der Verwertung zugeführt (Abb. X 2.2-10).

Abb. X 2.2-9: *Recycling von Baureststoffen (ohne Boden und Steine) 2000*



Quelle: *Arbeitgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau 2003*

Abb. X 2.2-10: *Aufkommen und Entsorgung von Boden und Steinen 2000*



Quelle: *Arbeitgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau 2003*

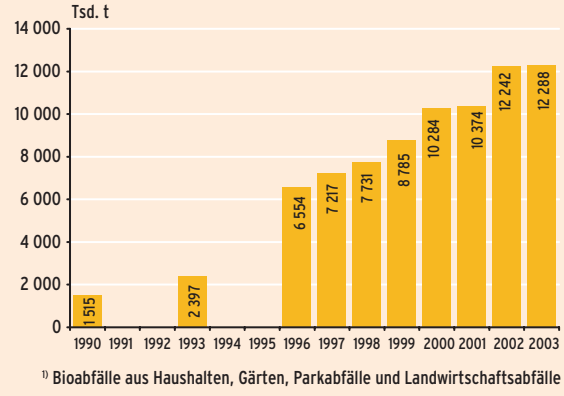
Verwertung mineralischer Abfälle auf Deponien

Der Hauptzweck der Deponien besteht zwar in der Beseitigung von Abfällen, doch können bei baulichen Maßnahmen auch Abfallverwertungen stattfinden, wenn durch die Abfallverwendung Primärrohstoffe ersetzt werden. Solche Baumaßnahmen sind z. B. die Herstellung der Abdichtungs- und Dränageschichten, des erforderlichen Oberflächenprofils oder der Rekultivierungsschicht. Verwertet werden hierbei überwiegend mineralische Abfälle wie Bauabfälle, Bodenaushub oder Straßenaufbruch. Erhebliche Materialmengen werden insbesondere bei der Stilllegung von Deponien benötigt. Gehäuft stillgelegt wurden unzureichend ausgestattete oder verfüllte Deponien im Vorfeld des 1. Juni 2005. So verringerte sich die Anzahl der Hausmülldeponien (nun Deponieklasse II) vom Jahr 2000 bis Juni 2005 von 358 auf 162 Deponien. Nahezu 200 der ehemaligen Hausmülldeponien wurden stillgelegt und erfordern den Einsatz großer Materialmengen für den umweltverträglichen Deponieabschluss. Damit bei diesen Maßnahmen die Verwertung von Abfällen gemäß Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz ordnungsgemäß und schadlos erfolgt und Scheinverwertungen verhindert werden, hat die Regierung die „Verordnung über die Verwertung von Abfällen auf Deponien über Tage“ (BGBl. I, Nr. 46/2005, S. 2252) verabschiedete, die am 1. September 2005 in Kraft treten soll.

Bioabfallsammlung und -behandlung

Vor etwa 20 Jahren wurde begonnen, biogene Abfälle getrennt zu sammeln und zu verwerten. Seitdem ist die Menge der behandelten Bioabfälle kontinuierlich angestiegen (Abb. X 2.2-11). Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes [1] wurden in Deutschland im Jahr 2003 etwa 12,3 Mio. t biogene Abfälle biologisch behandelt, d.h. kompostiert oder vergoren. Diese Menge umfasst Bioabfälle aus Haus-

Abb. X 2.2-11: *An Bioabfallbehandlungsanlagen angelieferte biologisch abbaubare Materialien*[1)]



[1)] Bioabfälle aus Haushalten, Gärten, Parkabfälle und Landwirtschaftsabfälle

Quelle: *Statistisches Bundesamt 2004 a*

halten, Garten- und Parkabfälle sowie Abfälle aus der Landwirtschaft, die in Kompostierungs- oder Vergärungsanlagen gelangen.

Betrachtet man nur die Bioabfälle aus Haushalten, so wurden davon etwa 3,4 Mio. t gesammelt und verwertet. Etwa 90 % davon wurden in Kompostierungsanlagen verwertet, 10 % der Bioabfälle aus Haushalten wurden in Biogasanlagen vergoren.

Das Statistische Bundesamt hat bundesweit über 1 500 Kompostierungs- und Vergärungsanlagen erfasst, in denen biogene Abfälle behandelt werden. In dieser Zahl sind eine Vielzahl landwirtschaftlicher Biogasanlagen und kleinere private Kompostierungsanlagen enthalten, so dass im Allgemeinen von etwa 900 Bioabfallbehandlungsanlagen ausgegangen wird. Dies entspricht auch der Schätzung der Bundesgütegemeinschaft Kompost. Etwa 75 Anlagen davon sind Vergärungsanlagen, in denen bei der Behandlung der Bioabfälle auch Biogas gewonnen wird.

Die getrennte Sammlung von Bioabfall hat einen wesentlichen Einfluss auf die Menge und die Zusammensetzung von Restmüll. Durch die Abtrennung der Bioabfälle lässt sich die Restabfallmenge um bis zu einem Drittel reduzieren. Gleichzeitig wird der Abfall von nassen Bestandteilen entfrachtet, was eine spätere Behandlung des Restabfalls, wie z.B. eine maschinelle Sortierung wesentlich erleichtert. Zur Qualität der gesammelten Bioabfälle und der erzeugten Komposte siehe Kap. VII 3.3.

[1] Statistisches Bundesamt, http://www.destatis.de/download/d/um/entsorgung2003.pdf (29.08.2005)

X 3 Abfallentsorgung

Nicht vermeidbare Abfälle sollen als neue Rohstoffe wieder in der industriellen Produktion eingesetzt oder so aufbereitet werden, dass sie umweltverträglich abgelagert werden können. Dazu sind die Abfälle vor der endgültigen Ablagerung mechanisch-biologisch oder thermisch zu behandeln, um vor allem die Freisetzung von Sickerwässern und Deponiegas aus Deponien zu minimieren. Für Verbrennungsanlagen und mechanisch-biologische Behandlungsanlagen gelten strenge Umweltstandards.

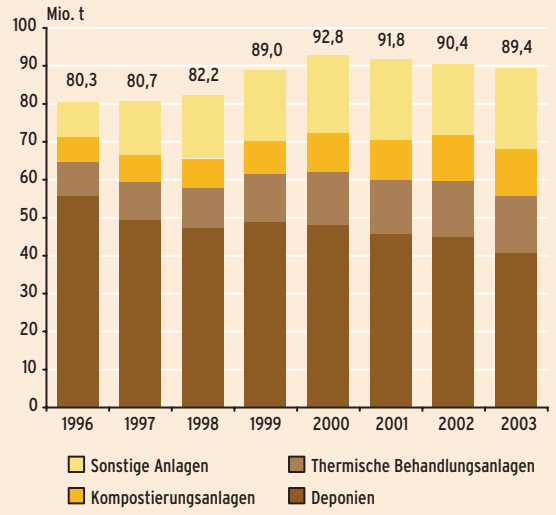
X 3.1 Entsorgung von Abfällen

Anlagen der Entsorgungswirtschaft

Anlagen der Entsorgungswirtschaft werden von den entsorgungspflichtigen Körperschaften (meist Kreise oder kreisfreie Städte) und der Privatwirtschaft betrieben. Zu diesen Anlagen gehören Deponien, thermische Behandlungsanlagen, Kompostierungsanlagen und sonstige Anlagen (z.B. Sortieranlagen, Verwertungsanlagen, Bauschuttaufbereitungsanlagen, mechanisch/biologische Behandlungsanlagen, chemisch/physikalische Behandlungsanlagen).

An Anlagen der Entsorgungswirtschaft werden Abfälle von der kommunalen Müllabfuhr (hierzu zählen auch beauftragte Privatunternehmen), von Handel, Gewerbe und Industrie sowie von Privatpersonen angeliefert. Abfälle aus der Produktion werden in industrieeigenen Anlagen, aber auch in Anlagen der Entsorgungswirtschaft entsorgt. Die insgesamt an Deponien, thermische Behandlungsanlagen und Kompostierungsanlagen der Entsorgungswirtschaft angelieferten Abfallmengen zeigt die Abb. X 3.1-1.

Abb. X 3.1-1: *Abfallentsorgung in Anlagen der Entsorgungswirtschaft*



Ohne besonders überwachungsbedürftige Abfälle
1998: ohne Hamburg
2003: vorläufige Angaben
Sonstige Anlagen: Chemisch-physikalische Behandlungsanlagen, Schredderanlagen, Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen, Bodenbehandlungsanlagen, sonstige Behandlungsanlagen

Quelle: *Statistisches Bundesamt 2005 c*

Während bei den Deponien im Zeitraum von 1996 bis 2003 ein Rückgang der Anlieferungen festzustellen ist, steigt die Anlieferung an Verbrennungsanlagen und Kompostierungsanlagen stetig an.

Betriebliche Eigenentsorgung

Eigenentsorger sind Betriebe, die eigene oder von Dritten übernommene Abfälle in eigenen Anlagen vollständig oder teilweise entsorgen.

Wie in der Entsorgungswirtschaft ist auch hier ein Rückgang bei der Ablagerung von Abfällen auf De-

ponien zu verzeichnen, während die in Abfallverbrennungsanlagen beseitigten und in Feuerungsanlagen verwerteten Abfallmengen um den Faktor 2,6 anstiegen.

Sonstige Entsorgung

Untertägige Verbringung: Bergbaufremde Abfälle werden in einer Vielzahl von Bergwerken als Versatzmaterial in bergbauliche Hohlräume eingebracht. Es handelt sich dabei überwiegend um mineralische Abfälle, die bestimmte Qualitätskriterien erfüllen müssen. 1996 wurden knapp 0,97 Mio. t bergbaufremde Abfälle in untertägigen Bergwerken versetzt, 2003 lag die Menge mit 1,24 Mio. t geringfügig höher.

Die am 30. Oktober 2002 in Kraft getretene Bergversatzverordnung regelt Anforderungen an Art und Zusammensetzung der im Bergversatz verwerteten Abfälle sowie an die Sicherheit der aufnehmenden Bergwerke.

Übertägige Verbringung: Erhebliche Mengen an mineralischen Abfällen werden für die Verfüllung von übertägigen Abbaustätten von Rohstoffen (z. B. Braunkohle, Sand, Kies, Ton) nach deren Betriebsende eingesetzt. Den weitaus größten Anteil macht Bodenaushub aus. Die verbrachten Mengen sind von 1996 nach 2000 um etwa ein Drittel auf rd. 98 Mio. t angestiegen, sanken bis 2003 aber wieder auf 82,8 Mio. t.

Aufhaldungen im Bergbau: Beim Aufsuchen, Gewinnen, Aufbereiten und Weiterverarbeiten von Bodenschätzen fallen mineralische Abfälle an, die entsorgt werden müssen. Der größte Anteil des Bergematerials wird im Steinkohlebergbau, geringere Mengen werden im Kali- und Steinsalzbergbau entsorgt. 1996 fielen insgesamt 54,3 Mio. t und im Jahr 2003 insgesamt 46,7 Mio. t an. Diese Mengen wurden auf Halde verbracht (Tab. X 3.1-1).

X 3.2 Ablagerungsquoten der Hauptabfallströme

Bei der Interpretation der folgenden Angaben zu den einzelnen Hauptabfallströmen ist zu beachten, dass im dargestellten Zeitraum mehrere Umstellungen in der Erhebung und Zurechnung der erfassten Mengen zu Abfallarten erfolgten. Erfasst werden seit 1996 in erster Linie die bei den Betreibern von Abfallentsorgungsanlagen jeweils eingesetzten Abfallmengen.

Einschränkungen bezüglich der Vergleichbarkeit der Daten ergeben sich in der hier betrachteten Periode durch den Umstieg vom Abfallkatalog der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall LAGA (bis 1998) auf den Europäischen Abfallkatalog EAK (ab 1999). Dies führte zu einer Verschiebung der Abfallmengen in bestimmten Unterpositionen, vor allem bei den Siedlungsabfällen, Abfällen aus Produktion und Gewerbe sowie bei Bau- und Abbruchabfällen. Im Jahr 2002 wurde der EAK durch das Europäische Abfallverzeichnis EAV abgelöst, was Verschiebungen innerhalb der Siedlungsabfälle sowie zwischen nicht besonders überwachungsbedürftigen und besonders überwachungsbedürftigen Abfällen zur Folge hatte. Daraus resultiert ein Bruch in der Zeitreihe: Bis einschließlich 2001 werden die besonders überwachungsbedürftigen Abfälle als eigener Abfallstrom aufgeführt, in den Angaben für das Jahr 2002 sind sie als Bestandteil in den anderen Abfallarten enthalten (Abb. X 3.2-1).

Des Weiteren werden ab 1999 die in die innerbetriebliche Behandlung gehenden Abfallmengen nicht mehr berücksichtigt. Verwertung und Beseitigung werden weiterhin erfasst.

Insgesamt ging die Ablagerung von Abfällen im betrachteten Zeitraum von rund 34 % (1997) auf rund 28 % (2003) des Abfallaufkommens zurück. In dieser Angabe ist die Ablagerung von Bergematerial aus

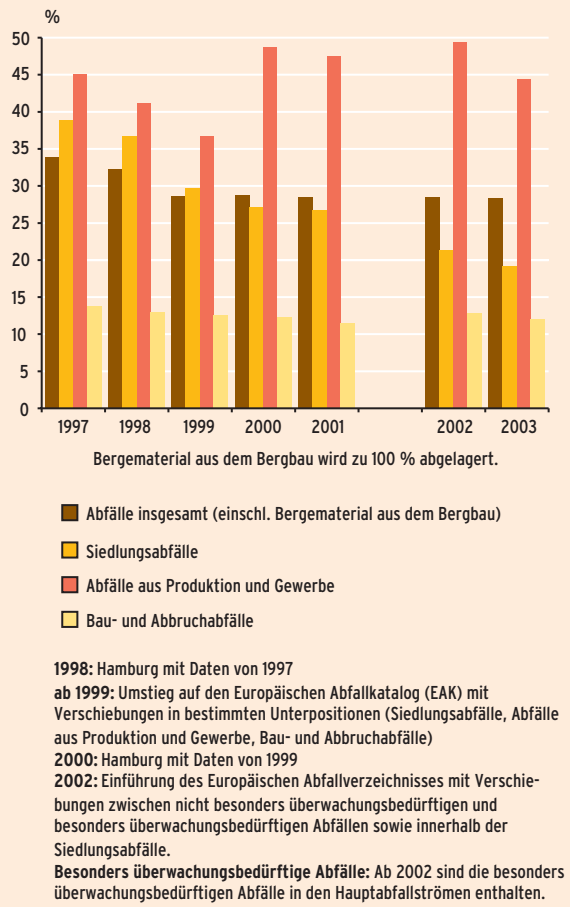
Tab. X 3.1-1: *Entsorgung von Abfällen in ausgewählten Abfallentsorgungsanlagen (Anlieferung in Tsd. t)*

	1996	2000	2003
Abfallverbrennungsanlagen	**13 177**	**20 457**	**23 177**
davon Entsorgungswirtschaft	8 970	13 920	15 217
betriebliche Entsorgung[1)]	1 905	4 167	5 352
besonders überwachungsbedürftige Abfälle	2 302	2 370	2 608[2)]
Mech./biol. Restmüllbehandlungsanlagen	**551**	**1 246**	**1 509**
Deponien	**78 565**	**67 089**	**59 040**
davon Entsorgungswirtschaft	55 619	48 183	40 562
betriebliche Entsorgung	18 326	13 845	13 346
besonders überwachungsbedürftige Abfälle	4 620	5 061	5 132[2)]
Kompostierungsanlagen	**6 554**	**10 284**	**12 286**
Untertägiger Bergbau	**1 482**	**1 685**	**1 238**
Übertägige Abbaustätten	**73 521**	**97 996**	**82 817**
Bergehalden	**54 308**	**48 187**	**46 689**

[1)] einschl. Feuerungsanlagen
[2)] vorläufiges Ergebnis

Quelle: *Statistisches Bundesamt 2005 d*

Abb. X 3.2-1: *Ablagerungsquoten der Hauptabfallströme*



Quelle: *Statistisches Bundesamt 2005 e*

dem Bergbau enthalten. Diese Abfallgruppe wird fast vollständig deponiert und macht daher den größten Teil der insgesamt deponierten Mengen aus. Bezieht man das Bergematerial aus dem Bergbau nicht in die Berechnung der Ablagerungsquote ein, so wurden 1997 noch 22,5 % des Abfallaufkommens deponiert. 2003 waren es 15,6 %.

Ab 01. Juni 2005 ist die Ablagerung nicht vorbehandelter Siedlungsabfälle verboten. Bis 2020 soll die Ablagerung von Siedlungsabfällen gänzlich eingestellt und stattdessen eine möglichst vollständige Vermeidung und Verwertung erreicht werden. Dazu bedarf es noch der Verankerung konkreter Handlungsziele in rechtlichen Vorgaben sowie der Entwicklung entsprechender Technologien (z. B. Sortiertechnologien), um die Ziele umsetzen zu können. Zwischen 1997 und 2003 konnte die Ablagerungsquote der Siedlungsabfälle fast halbiert werden.

Der uneinheitliche Verlauf der Ablagerungsquote für Abfälle aus Produktion und Gewerbe ist wegen fehlender detaillierter Zeitreihen derzeit nicht nachvollziehbar. Möglicherweise ist der Wechsel der Abfallkataloge mit ursächlich für den nicht plausiblen Verlauf.

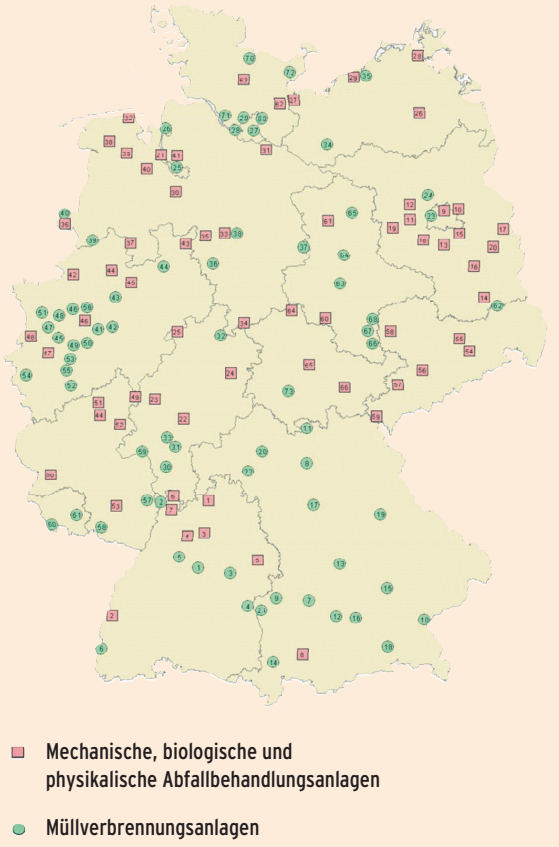
X 3.3 Abfallentsorgungsanlagen

Anlagen zur thermischen Abfallbehandlung

Thermische Behandlungsanlagen für Rest-Siedlungsabfälle

Im Jahr 2003 waren in Deutschland ca. 60 Anlagen zur thermischen Behandlung von Rest-Siedlungsabfällen mit einer genehmigten Kapazität von etwa 14 Mio. t in Betrieb. Wegen der am 1. Juni 2005 in Kraft tretenden Vorgaben der Abfallablagerungsverordnung und der TA Siedlungsabfall wurden von der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) im Sommer 2004 die Verbrennungskapazitäten erhoben, die im Jahr 2005 zur Verfügung stehen würden. Die Erhebung führte zu dem Ergebnis, dass in Deutschland derzeit 72 Müllverbrennungsanlagen mit einer Jahreskapazität von etwa 17,8 Mio. t Abfall betrieben werden oder sich in der fortgeschrittenen Planung befinden (Abb. X 3.3-1 und Tab. X 3.3-1).

Abb. X 3.3-1: *Behandlungsanlagen für Siedlungsabfälle zur Umsetzung der Abfallablagerungsverordnung*



Quelle: *Umweltbundesamt 2004*

Alle bestehenden Müllverbrennungsanlagen verfügen über eine Energienutzung (Strom, Prozessdampf und/oder Fernwärme). Der Gesamt-Nutzungsgrad liegt im Durchschnitt aller Anlagen bei etwa 47 %. Die bestehenden Anlagen könnten deutlich mehr Energie, insbesondere in Form von

Tab. X 3.3-1: *Entwicklung der Hausmüllverbrennung*

	Anzahl der Anlagen	Abfalldurchsatz-kapazität in 1 000 t/a	Durchschnittlicher Durchsatz je Anlage in 1 000 t/a
1990	48	9 200	191
1992	50	9 500	190
1993	49	9 420	192
1995	52	10 870	202
1998	53	11 900	225
2000	61	13 999	230
2005[1)]	67	16 900	252
2007[1)]	72	17 779	247

[1)] Schätzwerte

Quelle: *Umweltbundesamt 2004*

Wärme abgeben, sofern die Rahmenbedingungen an den Anlagenstandorten hinsichtlich der Abnahmemöglichkeiten verbessert werden könnten. In einigen der Anlagen wird Rest-Siedlungsabfall zusammen mit kommunalem Klärschlamm thermisch behandelt. Alle Anlagen verfügen über Abgasreinigungen, die entsprechend den Anforderungen der 17. BImSchV ausgestattet sind. Die meisten der Anlagen mit nasser Abgasreinigung werden abwasserfrei betrieben. In der Regel werden die Rostaschen einer Aufbereitung mit dem Ziel der Verwertung im Straßen- und Wegebau zugeführt und darüber hinaus Eisenschrott und NE-Metalle stofflich verwertet.

In Burgau (Landkreis Günzburg) wird seit 1987 die bisher einzige Pyrolyse-Anlage zur Behandlung von Restabfall und Klärschlamm im Entsorgungsmaßstab mit einem Jahresdurchsatz von ca. 25 000 t betrieben.

Künftig könnte die energetische Abfallverwertung in Kombination mit MBA-Verfahren oder dem Trockenstabilatverfahren an Bedeutung gewinnen. Bei diesen Kombinationen steht eine stoffstromspezifische Entsorgung der Abfälle im Vordergrund, bei der jede Abfallfraktion in das für sie günstigste Verwertungsverfahren gelangt. Auf diese Art sollen z. B. nur die Abfälle in die Müllverbrennung gelangen, für die diese sinnvoll ist. Materialien, die für eine stoffliche oder anderweitige Verwertung geeignet sind, werden vor der Verbrennung abgetrennt.

Klärschlammverbrennungs- und -trocknungsanlagen

In Deutschland fielen im Jahr 2001 laut statistischem Bundesamt etwa 2,4 Mio. t Klärschlammtrockensubstanz aus kommunalen Kläranlagen an. Davon wurden ca. 555 000 t verbrannt; das entspricht etwa 23 %. Nach einer Umfrage aus dem Frühjahr 2004 standen im Jahr 2003 Kapazitäten für die Verbrennung von kommunalen Klärschlämmen in Höhe von etwa 1,2 Mio. t zur Verfügung (Tab. X 3.3-2).

Tab. X 3.3-2: *Verbrennungskapazitäten für kommunale Klärschlämme*

	Anzahl der Anlagen	Verbrennungs kapazität [t/a]
Monoverbrennungsanlagen	17	480 000
Mitverbrennung in MVAs	8	60 000
Mitverbrennung in Kohlekraftwerken	25	658 000
Mitbehandlung in der Kohlevergasung	1	40 000
Gesamt	**51**	**1 238 000**

Quelle: *Umweltbundesamt 2004 a*

Für die Zunahme der Verbrennungskapazitäten in den letzten Jahren ist vor allem der Ausbau der Mitverbrennung in Kohlekraftwerken von Bedeutung. Die Verbrennung in Monoverbrennungsanlagen für Klärschlamm und die Mitverbrennung in Müllverbrennungsanlagen ist in den letzten Jahren kaum ausgeweitet worden. Es ist damit zu rechnen, dass zukünftig noch mehr Klärschlamm in Kraftwerken und Industrieanlagen (z. B. Zementwerke) mitverbrannt wird.

Für die Verbrennung von Klärschlamm ist bedingt durch das gewählte Verbrennungsverfahren häufig eine vorherige Trocknung erforderlich. In Deutschland werden zu diesem Zweck etwa 70 Klärschlammtrocknungsanlagen betrieben. Die derzeitige Jahreskapazität beträgt ca. 340 000 t Klärschlammtrockensubstanz.

Den größten Anteil an der Klärschlammentsorgung hat die stoffliche Verwertung. Im Jahr 2001 wurden 57,5 % des anfallenden Klärschlamms in der Landwirtschaft, der landbaulichen Verwertung oder zur Kompostierung eingesetzt. Der Anteil an nicht verwerteten Klärschlämmen, der auf Deponien gelangte, wird mit etwa 6,6 % angegeben.

Infolge der Anforderungen der Abfallablagerungsverordnung ist eine direkte Deponierung von Klärschlamm ab Juni 2005 nicht mehr zulässig. Klärschlamm ist dann thermisch oder gemeinsam mit Restmüll mechanisch-biologisch zu behandeln, bevor eine Deponierung möglich ist.

Gegenüber der landwirtschaftlichen Verwertung von Klärschlamm gibt es zunehmend Bedenken von Seiten des Umweltschutzes und der Landwirtschaft (Kap. VII 3.2). Es ist damit zu rechnen, dass die Anforderungen an die Qualität des Klärschlamms zukünftig steigen werden, so dass ein immer geringerer Anteil stofflich verwertet werden kann und ein größerer Anteil in Zukunft verbrannt werden muss.

Sonderabfall- und Rückstandsverbrennungsanlagen

Die Gesamtverbrennungskapazität der acht öffentlich zugänglichen, fünf beschränkt öffentlich zugänglichen und 19 betriebseigenen Sonderabfall- und Rückstandsverbrennungsanlagen in Deutschland liegt bei ca. 1,25 Mio. t/a, tatsächlich genutzt werden davon aber derzeit nur etwa 0,8 Mio t/a.

Bis auf einige Anlagenerweiterungen und die Modernisierung bestehender Sonderabfall- und Rückstandsverbrennungsanlagen in den neuen Ländern ist davon auszugehen, dass in nächster Zeit keine weitere Zunahme der vorhandenen Verbrennungskapazität durch den Bau von Neuanlagen erfolgt. In der Tendenz ist eher von einer Reduzierung der vorhandenen Verbrennungskapazitäten an einzelnen Standorten auszugehen.

Neben den Sonderabfall- und Rückstandsverbrennungsanlagen existieren noch weitere Anlagen, in denen Sonderabfälle mit anderen thermischen Verfahren (z. B. Vergasung, Einschmelzung) behandelt werden können.

Anlagen zur mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung (MBA)

Eine mechanisch-biologische Abfallbehandlung ist – nach den Anforderungen der Verordnung über Anlagen zur biologischen Behandlung von Abfällen (AbfallablagerungsV – 30. BImSchV, Anhang 23 zur AbwasserV) – nur in MBA mit hohem technischen Standard zulässig, die sehr strenge Anforderungen hinsichtlich Abluftfassung und -behandlung erfüllen. Durch die Ablagerungsverordnung werden wesentliche Anforderungen der Technischen Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen (TA Siedlungsabfall – TA Si) für Deponien, besonders an deren technische Ausstattung, an die Qualität abzulagernder Abfälle sowie die hierfür maximal zulässigen Übergangsfristen in die rechtsverbindlichere Form einer Verordnung übernommen und zusätzliche Anforderungen an Qualität und Einbau von mechanisch-biologisch behandelten Abfällen festgelegt. Diese Anforderungen können nach dem aktuellen Stand der Technik bei Restsiedlungsabfällen nur durch eine thermische oder mechanisch-biologische Vorbehandlung eingehalten werden.

Nach einer Erhebung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) werden nach dem 1. Juni 2005 zeitnah 66 MBA mit einer Gesamtkapazität von etwa 7,1 Mio. t/a zur Verfügung stehen (Abb. X 3.3-1).

Ablagerung von Abfällen auf Deponien

Die Abfallablagerungsverordnung (AbfAblV, 2001) untersagt die Ablagerung von unbehandelten Abfällen, welche die Zuordnungskriterien für Deponien nicht erfüllen, spätestens zum 01. Juni 2005. Damit wird die seit 1993 in der Technischen Anleitung Siedlungsabfall (TA Si) gleichlautende Forderung nach Abfallvorbehandlung bekräftigt und auf ein höheres Rechtsniveau gehoben. Ausnahmen sind danach nicht mehr zulässig.

Vor dem 1.6.2005 noch vielfach bestehende Ausnahmen durften nur genehmigt werden, sofern keine ausreichenden Behandlungskapazitäten vorhanden waren. So wurde z.B. im Jahr 2000 noch mehr als die Hälfte des Hausmülls und der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle ohne Vorbehandlung auf Deponien abgelagert. Von den ca. 34 Mio. t behandlungsbedürftigen Restabfällen wurden nur ca. 14 Mio. t thermisch und ca. 2 Mio. t mechanisch-biologisch vorbehandelt. Es verblieb ein erheblicher zusätzlicher Bedarf an Behandlungskapazitäten, der bis zum 01. Juni 2005 durch Neubau von Anlagen (Müllverbrennungsanlagen und mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen) und Mitnutzung von Feuerungsstätten (energetische Abfallverwertung) zu decken war.

Zusätzlich zu den oben genannten 34 Mio. t wurden 2000 etwa 28 Mio. t vorwiegend mineralische oder industrielle Restabfälle auf öffentlich zugänglichen Deponien abgelagert.

Die Anforderungen der TA Si an die Nachrüstung der Altdeponien (TA Si, Nr. 11) wurden in den letzten Jahren verstärkt umgesetzt. Neben der Erfüllung der betrieblichen Anforderungen und der Errichtung von Sickerwasserreinigungsanlagen betraf dies hauptsächlich die Deponiegasfassung, -behandlung und sofern möglich die Deponiegasverwertung. Dabei wird das klimarelevante Methan zerstört und zusätzlich Energie gewonnen. Bereits verfüllte Deponieabschnitte wurden abgedeckt, zumeist erst einmal temporär aufgrund der noch stattfindenden Setzungen der Hausmülldeponien, welche zur Zerstörung einer endgültigen Oberflächenabdichtung führen können.

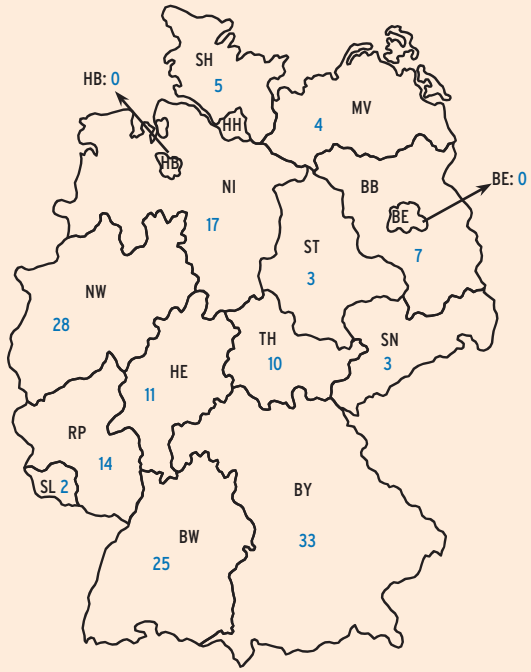
Durch die im letzten Jahrzehnt stark zurückgegangene deponierte Abfallmenge bestehen Überkapazitäten an Deponievolumen in Deutschland. Dies wird sich durch die erforderliche Vorbehandlung der Abfälle, die immer mit einer Verminderung des Volumens verbunden ist, noch verstärken. Nicht den Anforderungen der TA Si entsprechende Deponien können somit vorfristig geschlossen werden, ohne die Entsorgungssicherheit zu gefährden. Dies wurde

mit der Abfallablagerungs- sowie der Deponieverordnung verpflichtend geregelt. Nicht verordnungskonforme Deponien waren dem gemäß überwiegend zum 1. Juni 2005 und sind unter bestimmten Voraussetzungen spätestens 2009 zu schließen. Dies wird erhebliche Entlastungen von Boden, Grundwasser und Atmosphäre zur Folge haben.

Darüber hinaus wird der unlautere Wettbewerb zwischen den Deponien, die mit erheblichen Aufwendungen nach den Anforderungen der TA Si errichtet wurden, und solchen, die diese Kriterien nicht erfüllen, beendet.

Die TA Abfall, Teil 1 (TA So; „So" steht umgangssprachlich für Sonderabfall) verlangt analog der TA Si die Vorbehandlung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen vor der Ablagerung. Die strengen Zuordnungswerte gelten für alle Sonderabfalldeponien, auch für Altdeponien. Mit Umsetzung der Deponierichtlinie wurden die Anforderungen der TA So sowie der TA Si durch Änderungen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG, 2001) sowie Erlass der Deponieverordnung (2002) verrechtlicht. Neben den etablierten betrieblich-technischen sowie standortbezogenen Anforderungen der Verwaltungsvorschriften wurden weitere Kriterien wie die Sach- und Fachkunde des Deponiebetreibers, eine finanzielle Sicherheit, die einen Nachsorgezeitraum von 30 Jahren abdecken muss oder kostendeckende Entgelte gefordert (Abb. X 3.3.-2).

Abb. X 3.3.-2: *Verteilung der Deponien der Klasse II (vormals: überwiegend Hausmülldepoien) auf die Bundesländer*



Quelle: *Umweltbundesamt 2005*

Klimaverträgliche Abfallwirtschaft

Wissenschaftliche Erkenntnisse der letzten Jahre haben deutlich gemacht, dass die Umsetzung der Ablagerungsverordnung durch die Vorbehandlung der Abfälle nicht nur Boden und Gewässer vor Schadstoffeinträgen schützt, sondern über die Nutzung ihres energetischen Potentials und die damit einhergehende Substitution primärer Brennstoffe auch einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leistet.

Die Behandlung der Abfälle vor der Ablagerung führt direkt zu einer deutlichen Verminderung der deponiebedingten Methanemissionen. Bereits heute erwirtschaftet die Abfallbehandlung somit in erheblichem Umfang CO_2-Gutschriften und trägt dazu bei, dass die ehrgeizigen nationalen Ziele zur Reduzierung klimawirksamer Gase im Rahmen der Kyoto-Vereinbarung erreicht werden.

Nach jüngsten Berechnungen des Umweltbundesamtes [1] werden die deponiebedingten Methanemissionen von mindestens 1,5 Mio. t im Jahr 1990 um rund zwei Drittel auf 0,5 Mio. t im Jahr 2004 sinken. Das ist gleichbedeutend mit einem Rückgang um rund 21 Mio. t CO_2-Äquivalente. Damit wird die Zielstellung des Nationalen Klimaschutzprogramms vom Oktober 2000, bis zum Jahr 2005 die Methanemissionen aus Deponien auf rund 0,5 Mio. t zu verringern, erfüllt. Erreicht wird dies sowohl durch die Verringerung der abgelagerten Mengen abbaubarer Abfälle und verstärkte thermische Vorbehandlung in MVA als auch durch eine weitgehende Deponiegasfassung gemäß den Vorgaben der TA Siedlungsabfall bzw. Abfallablagerungsverordnung.

Durch die vollständige Beendigung der Ablagerung unbehandelter biologisch abbaubarer Abfälle seit dem 1. Juni 2005 kommt es zu einem weiteren Rückgang der Methanemissionen aus Deponien bis 2008 um 0,1 Mio. t und bis 2012 um 0,4 Mio. t, gleichbedeutend 2,1 Mio. t bzw. 8,4 Mio. t CO_2-Äquivalente. Gegenüber 1990 bedeutet das einen Rückgang von mehr als 90 % der deponiebedingten Methanemissionen in Deutschland.

Auch die Vorbehandlungsmaßnahmen selbst nützen dem Klimaschutz: Da etwa 50 % der Siedlungsabfälle biogener Herkunft sind, ist deren energetische Nutzung klimaneutral. Darüber hinaus können durch eine effiziente energetische Nutzung der übrigen heizwertreichen organischen Abfallbestandteile weitergehend fossile Brennstoffe substituiert wer-

den. In Betracht kommen der direkte Einsatz der Abfälle in MVA sowie die Mitverbrennung von in MBA abgetrennten oder getrennt erfassten heizwertreichen Abfällen. Durch die energetische Nutzung der Abfälle können nach Berechnungen des Umweltbundesamtes neben den Effekten durch das Deponieverbot für organisch abbaubare Abfälle mindestens weitere rund 3,7 Mio. t CO_2 pro Jahr eingespart werden.

Davon entfallen rund 2,2 Mio. t auf die Mitverbrennung von heizwertreichen Abfallbestandteilen als Ersatzbrennstoff in Industrieanlagen und Kraftwerken sowie rund 1,5 Mio. t durch die Verbrennung von ca. 3 Mio. t bislang abgelagerter Abfälle in MVA. Der erwartete Minderungseffekt aus der Mitverbrennung hat einen Anteil von rund 22 %, bezogen auf die 10 Mio. t CO_2, die im Rahmen des Emissionshandels von der Energiewirtschaft und der Industrie bis zum Jahr 2012 noch eingespart werden müssen. Der Minderungseffekt durch die Verbrennung in MVA hat einen Anteil von rund 17 % an der darüber hinaus von den übrigen Sektoren wie Privathaushalte, Gewerbe, Verkehr u. a. bis 2012 noch zu erwirtschaftenden CO_2-Senkung.

[1] Umweltbundesamt, Deutsches Treibhausgasinventar 1990–2002. Nationaler Inventarbericht 2004. Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen, Berlin 2004

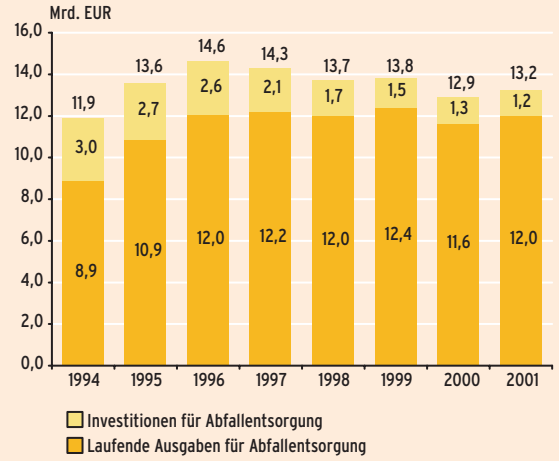
X 4 Ausgaben des Produzierenden Gewerbes, des Staates und der privatisierten öffentlichen Unternehmen für den Umweltschutz in der Abfallwirtschaft

Das Statistische Bundesamt erfasst die Ausgaben der öffentlichen Hand sowie der Privatwirtschaft für den Umweltschutz. Nähere Informationen, wie etwa die Summe der einzelnen Ausgabenbereiche, sind dem Beitrag V 2 „Ausgaben des Produzierenden Gewerbes, des Staates und der privatisierten öffentlichen Unternehmen für den Umweltschutz in der Luftreinhaltung“ zu entnehmen.

42 % der gesamten Umweltschutzausgaben (13,2 Mrd. €) wurden 2001 für die Abfallentsorgung aufgewandt. Die Investitionen machten davon etwa 9 % aus. 1994 waren es noch 25 % gewesen. 91 % der Ausgaben wurden 2001 für laufende Ausgaben erbracht (Abb. X 4-1).

Den weitaus größten Teil der Ausgaben im Jahr 2001 trugen mit rd. 60 % die privatisierten öffentlichen Unternehmen, das sind im Wesentlichen die Eigenbetriebe der Abfallentsorgung. Die öffentliche Hand gab weitere 31 % für die Abfallentsorgung aus, auf die Unternehmen des Produzierenden Gewerbes entfielen die restlichen 9 % (Abb. X 4-2).

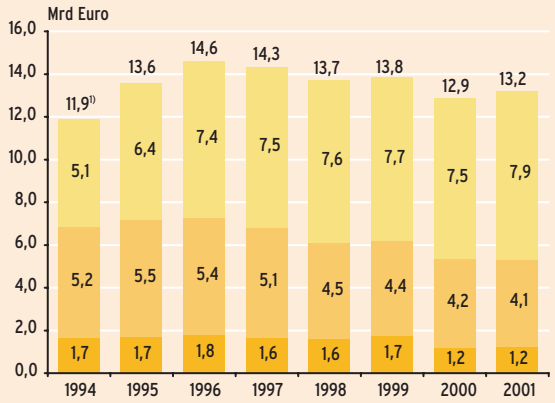
Abb. X 4-1: *Umweltschutzausgaben, Investitionen und laufende Ausgaben für Abfallentsorgung des Produzierenden Gewerbes[1)], des Staates und der privatisierten öffentlichen Unternehmen in jeweiligen Preisen*



1) Laufende Ausgaben des Produzierenden Gewerbes: Ohne Gebühren und Entgelte für Entsorgungsleistungen durch Dritte

Quelle: *Statistisches Bundesamt 2004 b*

Abb. X 4-2: *Umweltschutzausgaben für Abfallentsorgung des Produzierenden Gewerbes, des Staates und der privatisierten öffentlichen Unternehmen in jeweiligen Preisen*



1) Abweichung in der Summe durch Runden

Produzierendes Gewerbe: Ohne Baugewerbe und Ausgaben für integrierte Umweltschutzmaßnahmen
Privatisierte öffentliche Unternehmen: Hierunter sind die Ausgaben der außerhalb der öffentlichen Haushalte geführten Unternehmen der Abfallentsorgung erfasst, an denen die öffentliche Hand mit mindestens 50 % beteiligt ist.

Quelle: *Statistisches Bundesamt 2004 b*

X 5 Grenzüberschreitende Abfallverbringung

Rechtliche Grundlage

Langjährige Bestrebungen, die grenzüberschreitende Abfallverbringung, dabei vor allem Abfallexporte aus den Industriestaaten in Entwicklungsländer, in geordnete Bahnen zu lenken, haben zur Entwicklung eines komplexen Regelsystems geführt. Die wichtigsten dieser Vorschriften sind:

- auf völkerrechtlicher Ebene das Basler Übereinkommen mit mittlerweile über 160 Vertragsparteien,
- der OECD-Ratsbeschluss über die Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung von zur Verwertung bestimmten Abfällen,
- die EG-Abfallverbringungsverordnung, die die oben genannten völkerrechtlichen Vorgaben für alle EU-Staaten in unmittelbar geltendes Recht umsetzt,
- das deutsche Abfallverbringungsgesetz.

Hierbei ist nicht nur zwischen Export und Import zu unterscheiden, sondern auch zwischen gefährlichen und nicht gefährlichen Abfällen sowie zwischen Abfällen zur Verwertung und Abfällen zur Beseitigung. Die wichtigsten Vorschriften bei Abfällen zur Beseitigung sind:

- Bei Abfällen zur Beseitigung werden innerhalb der EU die Entsorgungsautarkie auf gemeinschaftlicher und einzelstaatlicher Ebene sowie die Beseitigung nach dem Prinzip der Nähe zum Entstehungsort angestrebt.
- Die Verbringung zwischen EU-Staaten ist nur nach vorheriger schriftlicher Genehmigung zulässig.
- Der Export aus der EU ist verboten mit Ausnahme des Exports nach Island, Liechtenstein, Norwegen und der Schweiz (EFTA-Staaten).
- Der Import von Abfällen zur Beseitigung in die EU ist genehmigungspflichtig, falls der Exportstaat Mitglied der EFTA oder des Basler Übereinkommens ist oder bilaterale Übereinkünfte bestehen. Der Import aus anderen Staaten ist verboten.

Die Verbringung von Abfällen zur Verwertung unterliegt wesentlich geringeren Einschränkungen, die sich vor allem auf die Transportsicherheit und die Plausibilität der Verwertungsmaßnahme beziehen. Die wichtigsten Vorschriften bei Abfällen zur Verwertung sind:

- Die Verbringung zwischen EU-Staaten ist für gefährliche Abfälle notifizierungspflichtig. Die meisten nicht gefährlichen Abfälle können ohne Notifizierung verbracht werden, in die neuen Mitgliedsstaaten jedoch zum Teil erst nach einer Übergangsfrist.
- Der Export von gefährlichen Abfällen zur Verwertung aus der EU ist ebenfalls notifizierungspflichtig, sofern der Importstaat Mitglied der OECD ist. Der Export in andere Staaten ist verboten. Der Export von nicht gefährlichen Abfällen ist zum größten Teil nicht notifizierungspflichtig mit der Einschränkung, dass bestimmte Abfälle auf Wunsch des jeweiligen Staates wie gefährliche Abfälle behandelt werden müssen.
- Der Import von gefährlichen Abfällen in die EU ist zulässig, aber notifizierungspflichtig, falls der Exportstaat Mitglied der EFTA oder des Basler Übereinkommens ist oder bilaterale Übereinkünfte bestehen. Der Import von gefährlichen Abfällen aus anderen Staaten ist verboten. Nicht gefährliche Abfälle können ohne Notifizierung verbracht werden.

Umweltziele bei der grenzüberschreitenden Abfallverbringung

Sowohl im deutschen als auch im EU-Recht bestehen das Abfallvermeidungsgebot sowie das Gebot, dass die Verwertung der Beseitigung vorzuziehen ist, was sich auch auf die grenzüberschreitende Abfallverbringung auswirken soll.

Abfall zur Verwertung ist nach EU-Recht eine Ware und unterliegt daher innerhalb der EU dem Grundsatz der Warenverkehrsfreiheit. Über zwingende Erfordernisse (z.B. des Umweltschutzes) hinaus darf die grenzüberschreitende Abfallverbringung daher keinen weiteren Einschränkungen unterliegen.

Die Verwertung von Abfällen kann dazu beitragen, begrenzte Rohstoffquellen zu schützen, sofern sie in wirtschaftlich und umweltpolitisch zufriedenstellender Form erfolgt. Zu diesem Zweck müssen Abfälle auch über Staatsgrenzen hinweg verbracht werden dürfen.

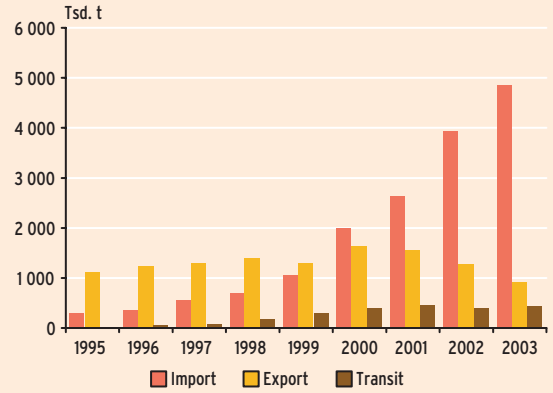
Die Verbringung von Abfällen zur Beseitigung ist dagegen nur selten sinnvoll, z.B. dann, sofern der Transportweg zur ausländischen Beseitigungsanlage wesentlich kürzer ist oder im Erzeugerstaat keine geeigneten Beseitigungsanlagen vorhanden sind.

Die Verbringung von Abfällen in Staaten, die nicht über die technischen Mittel verfügen, um solche Abfälle ohne Gefährdung der Umwelt und der Bevölkerung zu behandeln, soll unterbunden werden. In allen EU-Staaten ist das Verbot der Ausfuhr von gefährlichen Abfällen in Nicht-OECD-Länder seit Januar 1998 gültiges Recht.

Mengenentwicklung

In den letzten Jahren ist die Menge der importierten genehmigungspflichtigen Abfälle sehr stark angestiegen (Abb. X 5-1). Sie betrug 4,9 Millionen Tonnen (Mio. t) im Jahr 2003. Im Vorjahr waren es noch 3,9 Mio. t. Der größte Teil der Importe ging nach Nordrhein-Westfalen. Nur in Baden-Württemberg und dem Saarland überwiegt weiterhin der Export (Abb. X 5-2). Mehr als die Hälfte der Abfälle kommt aus den Niederlanden. Dort stiegen die Entsorgungsgebühren deutlich. Der Export genehmigungspflichtiger Abfälle ging in den vergangenen Jahren zurück und betrug 2003 noch rund 900 000 t. Seit dem Jahr 2000 werden mehr genehmigungspflichtige Abfälle importiert als exportiert.

Abb. X 5-1: *Import, Export und Transit notifizierungspflichtiger Abfälle 1995–2003*



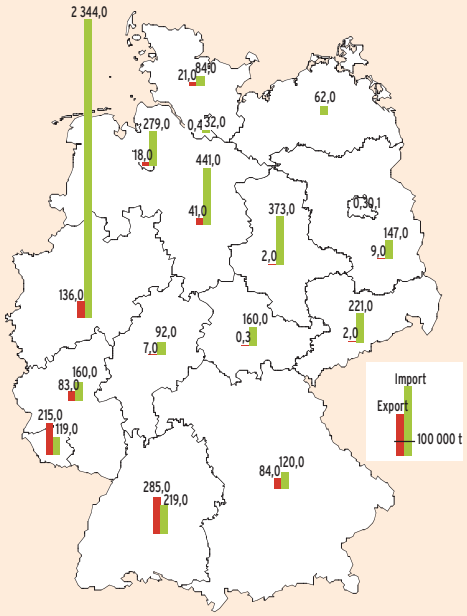
Quelle: *Umweltbundesamt 2004 b*

Zum Vergleich: Die Außenhandelsstatistik weist für nicht genehmigungspflichtige Abfälle Einfuhren in Höhe von 10,3 Mio. t aus. Die Ausfuhren betrugen hingegen 15,4 Mio. t (Abb. X 5-3 und Tab. „Außenhandel 1991–2003 mit nicht notifizierungspflichtigen Abfällen“). Hier überwiegt deutlich der Export, jedoch mit abnehmender Tendenz.

Die vorherrschenden Entsorgungsarten beim Import genehmigungspflichtiger Abfälle im Jahr 2003 sind die energetische Verwertung (1,2 Mio. t), die thermische Behandlung in Abfallverbrennungsanlagen (400 000 t), die Rückgewinnung von Metallen (500 000 t), die Verwendung als Düngemittel in der Landwirtschaft (340 000 t), die Deponierung (120 000 t), die Einlagerung in Untertagedeponien (50 000 t) und die Verwendung als Bergversatzmaterial (190 000 t). Ca. 800 000 t wurden einer Vorbehandlung – wie Sortieren und Konditionieren – unterzogen.

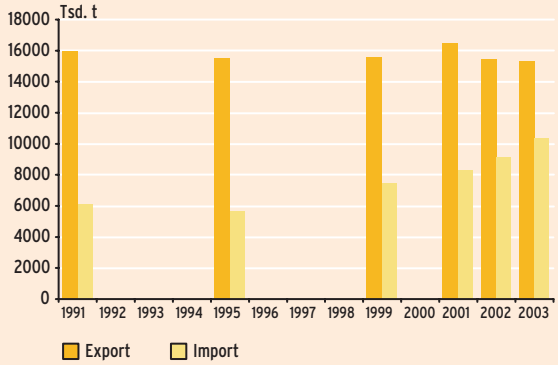
Beim Export steht die Rückgewinnung von Metallen mit 260 000 t im Vordergrund. Die Ablagerung auf ausländischen Deponien ist mit 900 t dagegen sehr gering. Zur Beseitigung wurden insgesamt nur noch 61 000 t ins Ausland verbracht, alle anderen exportierten Abfälle dagegen verwertet. (Tab. X 5-1).

Abb. X 5-2: *Import und Export notifizierungspflichtiger Abfälle 2003 nach Bundesländern in Tsd. t*



Quelle: *Umweltbundesamt 2004 c*

Abb. X 5-3: *Außenhandel mit nicht notifizierungspflichtigen Abfällen*



Quelle: *Statistisches Bundesamt 2004 c*

Überwachung – illegale Abfallverbringung

Die intensive Überwachung der Abfallexporte und klare rechtliche Regelungen bei Verstößen bewirkten, dass es in den letzten Jahren keine Aufsehen erregende Fälle des illegalen Abfallexports gab. Die Strafandrohungen reichen von bis zu 50 000 Euro Bußgeld für Ordnungswidrigkeiten bis hin zu drei Jahren Haft für strafrechtlich relevante Vergehen, in besonders schweren Fällen sogar bis zu zehn Jahren.

Eine detaillierte Statistik ist im Internet unter http://www.umweltbundesamt.de unter dem Stichwort *Abfallverbringung* verfügbar.

Tab. X 5-1: *Entwicklung der grenzüberschreitenden Abfallverbringung (notifizierungspflichtige Abfälle) nach Staatengruppen in Tsd. t*

	Export		
	1995	**2000**	**2003**
EU-Staaten	821	1 370	823
EFTA-Staaten	42	53	54
andere OECD-Staaten	24	1	2
Polen, Ungarn, Tschechien [1]	0	1	1
Andere Staaten	3	Exportverbot ab Januar 1998	
Abfälle nach Artikel 17(3) der EG-Abfallverbringungsverordnung [2]	208	203	28
Summe	**1 099**	**1 628**	**906**
davon zur Verwertung	**938**	**1 541**	**843**
zur Beseitigung	**161**	**87**	**64**
	Import		
	1995	**2000**	**2003**
EU-Staaten	188	1 772	4 555
EFTA-Staaten	82	165	250
andere OECD-Staaten	3	3	2
Polen, Ungarn, Tschechien [1]	5	35	24
Andere Staaten	2	9	15
Summe	**281**	**1 985**	**4 854**
davon zur Verwertung	**212**	**555**	**4 223**
zur Beseitigung	**69**	**429**	**631**

[1] Polen, Ungarn und die tschechische Republik sind zwar seit 1996 Mitglied der OECD, haben aber die abfallrechtlichen Vereinbarungen erst im Laufe der Zeit übernommen

[2] Abfälle, die normalerweise frei gehandelt werden dürfen, aber aufgrund bilateraler Vereinbarungen mit dem jeweiligen Importstaat der Genehmigungspflicht unterliegen

Quelle: *Umweltbundesamt 2004 d*

Begriffserläuterungen

Acceptable Daily Intake	Die zulässige tägliche Aufnahme einer Substanz, die bei lebenslanger Einnahme als medizinisch unbedenklich betrachtet wird
Akkumulation	Anreicherung von Schadstoffen in Umweltmedien, Pflanzen oder Tieren
Altdeponie	Deponie, die sich zum Zeitpunkt des Inkrafttretens der TA Siedlungsabfall bereits in Betrieb oder im Genehmigungsverfahren befand
anthropogen	durch den Menschen verursacht
Bauschutt	mineralische Stoffe aus Bautätigkeiten, auch mit geringfügigen Fremdanteilen
Benthos	Lebensgemeinschaft des Bodens von Meeres- und Süßgewässern, bestehend aus freibeweglichen und festsitzenden Tiere und Pflanzen. Das B. ist sehr unterschiedlich zusammengesetzt, je nach Tiefe, Art des Untergrunds, Wasserqualität, Temperatur usw. In vielen Bereichen ist das Benthal, d.h. der Lebensraum des B. aus Sedimenten zusammengesetzt. Diese können geogenen Ursprungs sein oder auf abgestorbene Lebewesen bzw. deren Reste zurückgeführt werden.
Bioabfall	im Siedlungsabfall enthaltene biologisch abbaubare nativ- und derivativ-organische Abfallanteile (z.B. organische Küchenabfälle, Gartenabfälle)
Bioindikatoren	Lebewesen oder Lebensgemeinschaft, die auf Schadstoffbelastungen mit Veränderungen reagieren
Biota	Gesamtheit der Pflanzen (Flora) und Tiere (Fauna) in einem bestimmten Gebiet.
Biotop	Lebensraum, der durch bestimmte Pflanzen- und Tierarten gekennzeichnet ist (z.B. Feuchtgebiet) mit typischen Umweltfaktoren (z.B. Klima)
Biozide	Chemikalien, die zur Bekämpfung von Schädlingen eingesetzt werden
Bodenaushub	nicht kontaminiertes, natürlich gewachsenes oder bereits verwendetes Erd- oder Felsmaterial
Bringcontainer	Sammelbehälter an zentralen Orten zur getrennten Erfassung von verwertbaren Abfällen
Chlorophyll	Chlorophyll (Blattgrün): Ein in allen grünen Pflanzen vorkommendes Gemisch aus Chlorophyll a (blaugrün) und Chlorophyll b (gelbgrün), das gemeinsam mit Carotinen und Xanthophyllen in den Chloroplasten der Pflanzenzellen vorliegt.
CO_2-Äquivalente	Angabe der Konzentration eines Gases bezogen auf seine Treibhauswirksamkeit im Vergleich zu CO_2 als Referenzsubstanz (CO_2 = 1)
Cypriniden	Karpfenartige (Fische)
DENOX-Anlagen	Anlagen zur Stickstoffoxid-Minderung

Deponiegas	im Deponiekörper in Folge biologischer Abbauprozesse gebildetes Gas, das hauptsächlich aus Methan und Kohlendioxid besteht, aber auch toxische Spurenstoffe enthält
Deposition	Ablagerung von Schadstoffen aus der Luft. Zu unterscheiden ist zwischen der trockenen D., z.B. dem Staubniederschlag, und der nassen D., dem Eintrag von Schadstoffen über das Niederschlagswasser.
Dobson Unit	Einheit für die Ozonkonzentration in einer Säule über dem Erdboden. Eine Dobson Unit entspricht einer Ozonschichtdicke von 0,01 mm bei einem Druck von 1 atm und einer Temperatur von 0°C. Typischerweise liegt der Ozongehalt im Bereich von 300 DU bis 400 DU, abhängig von geografischer Breite und Jahreszeit
Effektive Dosis	Summe der gewichteten mittleren Äquivalentdosen in den einzelnen Organen und Geweben des Körpers. Der Wichtungsfaktor bestimmt sich aus den relativen Beiträgen der einzelnen Organe und Gewebe zum gesamten Strahlenrisiko des Menschen bei Ganzkörperbestrahlung
Emission	von einer (festen oder beweglichen) Anlage oder von Produkten an die Umwelt abgegebene Luftverunreinigungen (Gase, Stäube), Geräusche, Strahlen, Wärme (z.B. Abwärme von Kühltürmen), Erschütterungen oder ähnliche Erscheinungen
Endenergie	die dem Endverbraucher nach Umwandlungs- und Transportvorgängen zur Verfügung stehende Energie (z.B. Strom an der Steckdose, Benzin im Tank)
Endokrin	Stoffe (z. B. Hormone) in den Blutkreislauf absondernd
Endokrine Disruptoren	Hormonell wirksame Stoffe mit oft östrogener, antiandrogener Wirkung
Erosion	Verlagerung von Bodenmaterial entlang der Oberfläche durch Wasser und Wind. Während die Wassererosion nur bei Gefälle auftritt, zieht die Winderosion hauptsächlich ebene Flächen in Mitleidenschaft.
eutroph	Ein Gewässer mit hoher Primärproduktion (oligotroph, mesotroph). Die Ursache ist meist einen hohe Konzentration an Nährstoffen, besonders Phosphat.
Eutrophierung	Als E. gilt eine durch menschliche Aktivitäten verursachte Anreicherung des Wassers mit Nährstoffen. Dies bewirkt ein beschleunigtes Wachstum von Algen und höheren Formen pflanzlichen Lebens und führt zu einer unerwünschten Störung der im Wasser befindlichen Lebensgemeinschaften sowie der Qualität des Wasser. Bei einer Überdüngung des Meeres kann es zu verstärktem Algenwachstum, Verschiebungen der Artenzusammensetzung und Sauerstoffmangel aufgrund des bakteriellen Abbaus abgestorbener Algen kommen.
Global Warming Potential (GWP)	Das Treibhauspotenzial eines Stoffes im Vergleich zu CO_2 über einen bestimmten Zeitraum, meist 100 Jahre (GWP CO_2 = 1)
Helsinki-Protokoll	1. Schwefelprotokoll (Helsinki-Protokoll); 1985 beschlossen; verpflichtet zu einer 30%-igen Reduktion der SO2-Emissionen bis 1993 bezogen auf 1980
Herbizid	Unkrautvernichtungsmittel

Hintergrundgehalt (eines Bodens)	setzt sich zusammen aus dem geogenen Grundgehalt eines Bodens und der ubiquitären Stoffverteilung als Folge diffuser Stoffeinträge in den Boden
Immissionen	Einwirkung von Luftverunreinigungen, Geräuschen, Erschütterungen, Strahlen, Wärme auf die Umwelt. Gemessen wird vor allem die Konzentration eines Schadstoffs in der Luft, bei Staub zudem die Menge, die sich auf einer bestimmten Fläche pro Tag niederschlägt. In der TA Luft sind Immissionsgrenzwerte für eine Reihe von Schadstoffen festgelegt.
Immissionsrate	die in einer bestimmten Zeiteinheit von einem Umweltmedium aufgenommene Menge an gasförmigen Schadstoffen
Immissionswerte	statistische Kenngrößen zur Beurteilung von Schadstoffimmissionen (Perzentil, Jahresmittelwerte). Immissionswerte dürfen zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen nicht überschritten werden. Als verbindlich werden die Immissionswerte der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) zum Schutz vor Gesundheitsgefahren und zum Schutz von erheblichen Nachteilen oder Belästigungen für die Bewertung von Immissionen herangezogen. Daneben sind die Immissionswerte der 22. BImSchV rechtsverbindlich.
Ingestion	Aufnahme von Stoffen mit der Nahrung
Inhalation	Aufnahme von Stoffen mit dem Atem
Inkorporation	Aufnahme von Stoffen in den menschlichen Körper
Insektizid	Insektenvernichtungsmittel
Ionisierende Strahlen	Zur ionisierenden Strahlung zählen sowohl elektromagnetische Strahlen - wie Röntgen- und Gammastrahlung – als auch Teilchenstrahlung - wie Alpha-, Beta- und Neutronenstrahlung. Sie ist dadurch charakterisiert, dass sie genügend Energie besitzt, um Atome und Moleküle zu ionisieren, das heißt aus elektrisch neutralen Atomen und Molekülen positiv und negativ geladene Teilchen zu erzeugen. Beim Durchgang durch Materie – zum Beispiel durch eine Zelle oder einen Organismus - gibt die ionisierende Strahlung Energie ab. Ist diese hoch genug, kann es zu schweren Strahlenschäden kommen.
Ischämisch	Mangelhaft durchblutet
Klärschlamm	aus Abwasser durch Sedimentation abtrennbare, wasserhaltige Stoffe; K. fällt innerhalb einer Kläranlage in verschiedenen Stufen an
Kontamination	Verunreinigung durch Schadstoffe
Makrozoobenthos	siehe Zoobenthos
Median	in einer nach ihrer Größe geordneten Zahlenreihe der Messwert, der die Reihe halbiert
Metabolit	Metabolit sind die in Organismen biochemisch bzw. enzymatisch gebildeten Abbau-Produkte vielfältiger Art sowohl aus höhermolekularen natürlichen Vorstufen als auch aus von außen zugeführten Fremdstoffen (Arzneimittel, Pflanzenschutzmittel und Gifte aller Art); letztere werden in speziellen Abbauprozessen gleichfalls in M. verwandelt.

Nährstoffe	Meerwasser: Biologisch verfügbare anorganische Verbindungen von Stickstoff (Nitrat, Nitrit, Ammonium), Phosphor (Phosphate) und Silicium (Silicate). N. sind zusammen mit verschiedenen Spurenmetallen für die pflanzliche Produktion (Primärproduktion) unentbehrlich. Nährstoffkonzentrationen variieren mit der Jahreszeit mit hohen Werten im Winter und niedrigen Werten während der Planktonblüte im Frühjahr.
OH-Radikal	Hydroxyl-Radikal, wichtiges atmosphärisches Oxidationsmittel, bestimmt die Selbstreinigungsfähigkeit der Atmosphäre
oligotroph	nährstoffarm
Ozon, bodennahes	farbloses, giftiges Gas (O_3) bzw. bei −183 °C eine dunkelblaue Flüssigkeit; entsteht bei intensiver Sonneneinstrahlung in der Atmosphäre; starkes Oxidationsmittel und Bestandteil von „Sommersmog“
Ozone Depletion Potential (ODP)	Das Ozonabbaupotenzial eines Stoffes im Vergleich zum FCKW R 11 (ODP R 11 = 1)
Persistenz	Maß für die Lebensdauer einer chemischen Verbindung, die durch chemische, physikalische oder biologische Einflüsse (z.B. Sonnenstrahlung, Bodenbakterien) abgebaut wird; chemisch stabile, persistente Stoffe bleiben jahrelang in der Umwelt erhalten
Perzentil	statistischer Wert, der von einem bestimmten Prozentsatz der Messergebnisse einer Stichprobe eingehalten wird (z.B. 95 Perzentil ist der Wert, der von nur 5 % der Stichprobe überschritten wird)
Pestizide	Pflanzenschutzmittel zur Bekämpfung tierischer und pflanzlicher Organismen
Phänologie	Wissenschaft von den jahreszeitlich bedingten Erscheinungsformen bei Tier und Pflanze
Photolyse	durch Lichteinwirkung verursachte Zersetzung chemischer Verbindungen
Photooxidantien	chemische Reaktionsprodukte, die in der Atmosphäre unter dem Einfluss intensiver Sonnenstrahlung vor allem aus den Vorläuferstoffen Stickstoffoxiden und Kohlenwasserstoffen entstehen und oxidierende Eigenschaften besitzen. Wichtige Vertreter dieser Gruppe sind Ozon, Peroxyacetylnitrat (PAN) und Salpetersäure. Als Leitsubstanz dieses hochreaktiven Gasgemisches wird aus messtechnischen Gründen i.d.R. häufig nur der Ozongehalt bestimmt.
pH-Wert	Maß zur Bestimmung des sauren, neutralen oder basischen Charakters wässriger Lösungen, stellt den negativ dekadischen Logarithmus der molaren Wasserstoffionen-Konzentration dar. Die pH-Wert-Skala reicht von 1 bis 14, ein pH-Wert von 7 kennzeichnet eine neutrale Lösung.
Phytoplankton	Pflanzliche Organismen des Planktons, überwiegend Algen, aber auch Cyanobakterien und andere phototrophe Bakterien. Das Phytoplankton leistet die Primärproduktion im Pelagial des Meeres und des Süßwassers.
Plankton	Gemeinschaft der im Pelagial des Meeres und der Binnengewässer schwebenden und schwimmenden Organismen, sofern sie mit den Wasserbewegungen beliebig verfrachtet werden können. Das P. setzt sich nach den Organismengruppen zusammen aus Bakterioplankton, Phytoplankton, Zooplankton.

Primärenergie	die zur Deckung des Energiebedarfs zur Verfügung stehende Energie in im Wesentlichen natürlichen Energieträgern wie Steinkohle, Braunkohle, Rohöl und Erdgas.
Puffer	meist Lösung schwach dissoziierter Säuren oder Basen, die in der Lage sind, hinzukommende Wasserstoffionen oder Hydroylionen durch Überführung in den undissoziierten Zustand abzufangen, wodurch der pH-Wert weitgehend konstant gehalten wird
Pyrolyse	Zersetzung von chemischen Verbindungen durch Hitze
Radioaktive Stoffe	Stoffe, die Radionuklide enthalten
Radioaktivität	Eigenschaft bestimmter chemischer Elemente bzw. Nuklide, ohne äußere Einwirkung Teilchen- oder Gammastrahlung aus dem Atomkern auszusenden
Radionuklide	instabile Nuklide, die unter Aussendung von Strahlen in andere Nuklide zerfallen
Rote Liste	offizielle Bilanz des Artenschwundes in Deutschland, die von Fachwissenschaftlern ständig überarbeitet wird. In den Roten Listen werden alle heimischen Tier- und Pflanzenspezies aufgeführt, die im Bestand gefährdet oder vom Aussterben bedroht sind.
Salmoniden	Lachsartige (Fische)
Schallpegel	Lärmbelastungen werden physikalisch als Schallpegel in der logarithmischen Einheit Dezibel (dB) angegeben. Um die komplexen Einwirkungen auf das menschliche Gehör nachzuahmen, wird zusätzlich eine Bewertung der Frequenzen vorgenommen. Diese A-Bewertung ergibt Schallpegel mit der Einheit dB(A).
Sedimente	durch Absetzen (Sedimentation) von Feststoffteilchen häufig unter Beteiligung tierischer oder pflanzlicher Organismen entstandene Ablagerung in Gewässern
Sickerwasser	im Deponiekörper enthaltenes schadstoffangereichertes Wasser, gebildet aus der Eigenfeuchte des Abfalls und aus infiltrierten Niederschlägen, das in der Dränage oberhalb der Basisabdichtung gefasst und einer Sickerwasserreinigungsanlage zugeführt wird
Smog	aus dem Englischen stammende Wortkombination aus „smoke“ (Rauch) und „fog“ (Nebel); durch starke Anreicherungen von Luftverunreinigungen gekennzeichnet; unterschieden zwischen Winter- und Sommersmog: Der an die kalte Jahreszeit gebundene Wintersmog entsteht vor allem während austauscharmer Wetterlagen durch Anreicherung von Luftschadstoffen in der Grundschicht der Atmosphäre (besonders SO2 und Staub). Sommersmog oder auch Photosmog entsteht bei sommerlichen Schönwetterperioden in Folge photochemischer Reaktionen zwischen Ozon-Vorläuferstoffen. Anders als beim Wintersmog werden die zum Smog führenden Luftverunreinigungen beim Sommersmog nicht direkt aus Anlagen in die Atmosphäre emittiert, sondern bilden sich dort erst aus.
Strahlenexposition	Einwirkung ionisierender Strahlen auf den menschlichen Körper oder seine Teile
Stratosphäre	bis ca. 50 km Höhe reichende Luftschicht oberhalb der Troposphäre

Suburbanisierung	Bevölkerungsverlagerung aus den Städten in das Umland
Tide, Tidenhub	Biolg. Aspekte: Gezeitenzone, Litoral, Tidenhub.
Tidenhub:	Unterschied zwischen Hochwasser und Niedrigwasser des Meeres. Das Steigen des Wassers vom Niedrigwasser zum Hochwasser nennt man Flut, das Fallen vom Hochwasser zum Niedrigwasser Ebbe. Der gesamte Vorgang bestehen aus einer Flut und der nachfolgenden Ebbe, heißt Tide.
Trajektorienmodell	Modell, das den Transportweg eines in die Atmosphäre freigesetzten Stoffes in der Luft bis zur Emissionsquelle zeitlich und räumlich zurückverfolgt
Treibhausgase	Stoffe, die an der Entstehung des anthropogen verursachten Treibhauseffektes beteiligt sind
Trophie	Trophie ist die Intensität der photoautorophen (pflanzlichen) Produktion in Gewässern (Primärproduktion). T. ist ein zentraler Begriff in der Limnologie und Ozeanologie, weil nur durch Photosynth. Strahlenenergie direkt in lebende Biomasse gespeichert werden kann.
Troposphäre	unterste Schicht der Atmosphäre bis zu einer Höhe von ca. 10 km
UV(B)-Strahlung	bestimmter Bereich aus dem breiten Spektrum der Sonnenstrahlung; bei Menschen für den Sonnenbrand verantwortlich; kann zu akuten und chronischen Haut- und Augenschäden führen
UV-Index	Tageshöchstwert der „sonnenbrandwirksamen“ UV - Strahlung
Vergärung	biologischer Abbauprozess in sauerstofffreiem Milieu (anaerober Prozess); herrscht im Innern des Deponiekörpers vor; bei Vergärung entsteht Deponiegas
Versauerung der Böden	Eingetragene Säuren und Säurebildner wirken so, dass das Puffervermögen der Böden und Gesteine überschritten wird bis hin zu irreversiblen Schädigungen
Vorkettenemissionen	der Verwendung eines Produkts vorgelagerte Emissionen aus Gewinnung, Transport, Produktion etc.
Zönose	Gemeinschaft von verschiedenen Organismen, die voneinander abhängig sind. Z. werden nach verschiedenen Kriterien unterschieden und entsprechend benannt: Die Gemeinschaft aller Lebewesen eines Biotops ist die Biozönose.
Zoobenthos	Gesamtheit der Tiere, die ständig oder zeitweilig den Grund der Gewässer zwischen dem Ufer- bzw. Küstenbereich und der größten Tiefe besiedeln.

Abkürzungen

AA-EQS	Annual Average Environmental Quality Standard
ABl.	Amtsblatt
ACEA	European Automobile Manufacturers Association
ADI	Acceptable Daily Intake
AGEE Stat.	Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien Statistik
AOX	Adsorbierbare organische Halogenverbindungen
ARGE	Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe und Weser
AVV	Abfallverzeichnisverordnung
BaP	Benz(a)Pyren
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BGBl	Bundesgesetzblatt
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchG	Bundes-Immissionsschutz-Gesetz
BImSchV	Bundes-Immissionsschutz-Verordnung
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMVBW	Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen
BNatSchG	Bundes-Naturschutzgesetz
BSB_7	Biochemischer Sauerstoffbedarf von Mikroorganismen beim Abbau organischer Substanzen innerhalb von sieben Tagen
CIE	Commission Internationale de L'Eclairage
CT	Computer-Tomographie
dB(A)	Dezibel (Frequenzkurve (A))
DDD	Dichlordiphenyldichlorethan
DDE	Dichlordiphenyldichlorethylen
DDT	Dichlordiphenyltrichlorethan
DEHP	Di-(2-Ethyl-Hexyl)-Phthalat
DIN	Deutsche Industrie-Norm (auch: Deutsches Institut für Normung e. V.)
DSD	Duales System Deutschland
DSP	Diarrhetic Shellfish Poisoning
DTPA	Diethylentriaminpentaessigsäure
DU	Dobson Unit
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EFTA	European Free Trade Association
EMEP	European Monitoring and Evaluation Program
EnEV	Energieeinsparverordnung
ERP	European Recovery Program
EU	Europäische Union
EUR	Euro
Ew	Einwohner
EW	Einwohnerwert
FCKW	Fluorkohlenwasserstoff
FG	Frischgewicht
GEP	Gebietsentwicklungsplan
GHD	Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
GuD	Gas- und Dampfkraftwerke
GWP	Global Warning Potential
HCB	Hexachlorbenzol
HCH	Hexachlorcyclohexan
HELCOM	Helsinki-Kommission
H-FBKW	Teilhalogenierter Fluorbromkohlenwasserstoff
H-FCKW	Teilhalogenierter Fluorchlorkohlenwasserstoff
H-FKW	Teilfluorierter Kohlenwasserstoff
ICAO	International Civil Aviation Organization
IEA	International Energy Agency

IPCC	International Panel on Climate Change
I-TEQ	Internationale Toxizitätsäquivalente (für PCDD/F)
IUCN	The International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources
JAMA	Japan Automobile Manufacturers Association
k.A.	keine Angaben
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KAMA	Korea Automobile Manufacturers Association
KrW-/AbfG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
LABO	Bund-Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz
LAGA	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
LEP	Landesentwicklungsplan
LF	Landwirtschaftlich genutzte Fläche (umfasst Ackerland, Streuwiesen, Gartenland, Obstplantagen, Sonderkulturen)
LSG	Landschaftsschutzgebiet
LUCF	Land Use Change and Forestry
LWC	Light Weight Coated
MAC-EQS	Maximum Allowable Concentration Environmental Quality Standard
MAK	Maximale Arbeitsplatz-Konzentration
MBA	Mechanisch-biologische Restabfallbehandlungsanlage
MEHP	Mono-(2-Ethyl-Hexyl)-Phthalat
MUDAB	Meeresumwelt-Datenbank
MVA	Müllverbrennungs-Anlage
NE	Nichteisen
NH_x	reduzierte Stickstoffverbindungen
NO_x	Stickstoffoxide
NSG	Naturschutzgebiet
NTA	Nitrilotriessigsäure
ODP	Ozone Depletion Potential
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung)
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
OSPAR	Oslo-Paris-Kommission
PAK (engl. PAH)	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCDD	Polychlorierte Dibenzodioxine
PCDF	Polychlorierte Dibenzofurane
PCP	Pentachlorphenol
PEV	Primärenergieverbrauch
PM	Schwebstaubkomponente (particulate matter)
POP	Persistent Organic Pollutants (persistente organische Verbindungen)
RAL	Reichsausschuss für Lieferbedingungen, heute: Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V.
RöV	Röntgenschutzverordnung
RROP	Regionales Raumordnungsprogramm
SM	Schwermetall
SSK	(deutsche) Strahlenschutzkommission
SUP	Strategische Umweltprüfung
SuV	Siedlungs- und Verkehrsfläche
SVE	Selbstverpflichtungserklärung
TA	Technische Anleitung
TA Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
TBT	Tributylzinn
TEQ	Toxizitätsäquivalent
TG	Trockengewicht
THG	Treibhausgase
TM	Trockenmasse
TPT	Triphenylzinn

TREMOD	Transport Emission Estimation Model
Tri	Trichlorethen
TS	Trockensubstanz (auch Trockenrückstand)
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UN ECE	United Nations Economic Commission for Europe (Wirtschaftskommission für Europa)
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
UStatG	Umweltstatistikgesetz
VOC	Volatile Organic Compounds
WBGU	Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung „Globale Umweltveränderungen“
WEEE	Waste Electrical and Electronic Equipment
WHO	World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)
WMO	World Meteorological Organization (Weltmeteorologieorganisation)
ZuG	Zuteilungsgesetz

Einheiten

Präfixe:

Mio.	Million	= 10^6
Mrd.	Milliarde	= 10^9
p	Pico	= 10^{-12}
n	Nano	= 10^{-9}
µ	Mikro	= 10^{-6}
m	Milli	= 10^{-3}
k	Kilo	= 10^3
M	Mega	= 10^6
G	Giga	= 10^9
T	Tera	= 10^{12}
P	Peta	= 10^{15}

Zeiteinheiten:

h	Stunde (hora)
d	Tag (dies)
a	Jahr (annus)

Abgeleitete S I-Einheiten

W	1 W (Watt)	= 1 J/s	Leistung
J	1 J (Joule)	= 1 W • s (Wattsekunde)	Energie, Arbeit, Wärmemenge
PJ	1 PJ (Petajoule)	= 34,120 t SKE (Steinkohleneinheiten)	
T	1 T (Tesla)	= 1 Wb/m^2	Magnetische Induktion
Sv	1 Sv (Sievert)	= 1 J/kg	Äquivalentdosis
Bq	1 Bq (Becquerel)	= 1/s (Atomkernzerfall/Sekunde)	Radioaktivität

Konzentrationsangaben in wässrigen Proben

			Beispiel
% Prozent	1 %	= 10 g/l	Ein Zuckerwürfel (2,7 g) in 2 Tassen Kaffee (270 ml)
‰ (Promille)	1 ‰	= 1 g/l	Ein Zuckerwürfel in 2,7 l
ppm (parts per million)	1 ppm	= 1 mg/l	Ein Zuckerwürfel in 2700 l (Milchtankwagen)
ppb (parts per billion)	1 ppb	= 1 µg/l	Ein Zuckerwürfel in 2,7 Mio. l oder 1 mg/m^3 (Tankschiff)
ppt (parts per trillion)	1 ppt	= 1 ng/l	Ein Zuckerwürfel in 2,7 Mrd. l oder 1 $µg/m^3$ (Lechstausee)

Quellenverzeichnis

Kapitel I

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2003 – Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Umweltbundesamt 2003

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2003 a – AG Energiebilanzen; Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA); Verband der Elektrizitätswirtschaft – VDEW – e.V.; Bundesverband Braunkohle – DEBRIV, Statistik der Kohlenwirtschaft; Berechnungen des Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung Berlin (DIW)

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2003 b – Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland, Auswertungstabellen, 08/2003

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2004 – Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990-2003, 10/2004

Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e.V. – Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e.V. bei dem Verbund der Elektrizitätswirtschaft (AGFW). Hauptbericht der Fernwärmeversorgung, Frankfurt/M.

Bundesministerium der Finanzen 2005 – Übersicht „Mineralöl- und Strombesteuerung im Rahmen der Ökologischen Steuerreform", Berlin, Januar 2005, http://www.bundesfinanzministerium.de/cln_03/nn_4192/DE/Service/Downloads/Downloads_6/29085_0,templateId=raw,property=publicationFile.pdf

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2004 (Hrsg.) – Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2005 (Hrsg.) – BMU Umweltpolitik: Erneuerbare Energien in Zahlen – Nationale und Internationale Entwicklung, Stand Juni 2005

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2005 a (Hrsg.) – BMU Umweltpolitik: Erneuerbare Energien in Zahlen – Nationale und Internationale Entwicklung, Stand Juni 2005; Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Stand Februar 2005

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen 2004 (Hrsg.) – Verkehr in Zahlen 2004/2005, November 2004

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen 2004, Statistisches Bundesamt 2004 – BMVBW, Verkehr in Zahlen 2003/2004, 32. Jahrgang, Deutscher Verkehrs-Verlag GmbH; Statistisches Bundesamt 2004

Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) – BMWA; Verband der Elektrizitätswirtschaft e.V. (VDEW); Bundesverband Braunkohle (DEBRIV), Statistik der Kohlenwirtschaft; Berechnungen des Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung Berlin (DIW)

Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks 2003 – Zentralinnungsverband: Ergebnisse der Überwachungsmessungen für das Jahr 2003 (unveröffentlicht)

Deutscher Wetterdienst 2004 (DWD) – Mitteilung vom 15.06.2004

Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung" 2002 – Enquete-Kommission des 14. Deutschen Bundestages „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung", Bundestags-Drucksache 14/9400 vom 07.07.2002

Europäische Umweltagentur 2003 – European Environment Agency (EEA), Greenhouse gas emission trends and projections in Europe Environment Issue Report No. 36, Kopenhagen 2003

Europäische Umweltagentur 2004 – European Environment Agency (EEA), Annual European Community Greenhouse Gas Inventory 1990-2002 and Inventory Report 2004, Submission to the UNFCCC Secretariat

Europäische Umweltagentur 2004 a – European Environment Agency (EEA), Annual European Community Greenhouse Gas Inventory 1990-2002 and Inventory Report 2004

Intergovernmental Panel for Climate Change 2001 (IPCC) – Third Assessment Report (TAR), Climate Change, 2001

International Energy Agency 2003 (IEA) – CO_2 Emissions from fuel combustion, 1971-2001, Paris 2003

Umweltbundesamt 2003 – Kartengrundlage: Laufende Raumbeobachtung des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR) 2003

Umweltbundesamt 2003 a – UBA-Texte 41/03, Berlin, 2003; Struschka, Dr. M. et al.: Ermittlung und Evaluierung der Feinstaubemissionen aus Kleinfeuerungsanlagen im Bereich der Haushalte und Kleinverbraucher sowie Ableitung von geeigneten Maßnahmen zur Emissionsminderung

Umweltbundesamt 2003 b (Hrsg.) – Das Energie-Sparschwein, Informationen zum Wärmeschutz und zur Heizenergieeinsparung für Eigenheimbesitzer und Bauherren, 2003

Umweltbundesamt 2004 – Ergebnisse des UBA-Messnetzes 2004

Umweltbundesamt 2004 a – www.umweltbundesamt.de/verkehr/index.htm

Umweltbundesamt 2004 b – Deutsches Treibhausgasinventar 1990–2002: Submission 2004-UN FCCC, CRF Tables 1990–2002, Common Reporting Format for the Provision of inventory information by Annex I Parties to the UN FCCC, Sectoral Report for Land Use, Land Use Change and Forestry (LULUCF), Berlin 2004 (Stand: 17.11.2004)

Umweltbundesamt 2005 (Hrsg.) – Deutsches Treibhausgasinventar 1990-2003, Nationaler Inventarbericht 2005. Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen. Berlin, April 2005

Umweltbundesamt 2005 a (Hrsg.) – Klimaschutz in Deutschland bis 2030, Endbericht zum Forschungsvorhaben Politikszenarien III, Texte 03/05, Texte 03/05; Geiger, B.; Wittke, F. (2003): Die energiewirtschaftlichen Daten der Bundesrepublik Deutschland, in: BWK Bd. 55 (2003) Nr.1/2, S. 56-63

Umweltbundesamt 2005 b (Hrsg.) – Klimaschutz in Deutschland bis 2030, Endbericht zum Forschungsvorhaben Politikszenarien III, Texte 03/05; Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung e.V. (RWI); Berechnungen des Öko-Instituts (Institut für angewandte Ökologie e.V.)

Umweltbundesamt 2005 c – Deutsche Emissionshandelsstelle im Umweltbundesamt, eigene Zusammenstellung, „Emissionshandel in Deutschland: Verteilung der Emissionsberechtigungen für die erste Handelsperiode 2005-2007“, 2005

Umweltbundesamt 2005 d (Hrsg.) – Klimaschutz in Deutschland bis 2030, Endbericht zum Forschungsvorhaben Politikszenarien III, Texte 03/05; Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung Berlin (DIW)

Umweltbundesamt 2005 e (Hrsg.) – Klimaschutz in Deutschland bis 2030, Endbericht zum Forschungsvorhaben Politikszenarien III, Texte 03/05; Kleemann M. et al. 2003

Umweltbundesamt 2005 f – Daten- und Rechenmodell Energieverbrauch und Luftschadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland (TREMOD), Version 4.0

World Meteorological Organization 2003 (WMO) – Climatic Research Unit; University of East Anglia and Hadley Centre, The Met Office, UK 2003

Kapitel II

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit 2004 (BVL) – www.bvl.bund.de

Bundesinstitut für Risikobewertung 2003 (BfR) – www.bfr.bund.de

Bundesinstitut für Risikobewertung 2005 (BfR) – Vieth, B., Rüdiger, T., Ostermann, B., Mielke, H.: Rückstände von Flammschutzmitteln in Frauenmilch aus Deutschland unter besonderer Berücksichtigung von polybromierten Diphenylethern. Abschlussbericht des Forschungsprojektes im Auftrag des UBA (Förderkennzeichen 202 61 218/03). Berlin, Mai 2005

Bundesministerium für Gesundheit und Soziale Sicherung 2002 (BMGS) – BMGS, Sektoraler Bericht (Trinkwasser) an die Europäische Kommission, 2002

Europäische Kommission 2005 – Qualität der Badegewässer, Badesaison 2004, Brüssel 2005

Stiftung Ökologie & Landbau; Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft 2004 – SÖL; BMVEL, Statistisches Jahrbuch Landwirtschaft 2004

Umweltbundesamt 2002 – Becker, K., Kaus, S., Krause, C., Lepom, P., Schulz, C., Seiwert, M., Seifert, B.: Umwelt-Survey 1998, Bd. III: Human-Biomonitoring. Stoffgehalte in Blut und Urin der Bevölkerung in Deutschland. WaBoLu-Heft 1/02, Umweltbundesamt, Berlin 2002

Umweltbundesamt 2004 – www.umweltprobenbank.de

Umweltbundesamt 2004 a – Becker, K., Seiwert, M., Angerer, J., Heger, W., Koch, H.M., Nagorka, R., Roßkamp, E., Schlüter, C., Seifert, B., Ullrich, D.: DEHP metabolites in urine of children and DEHP in house dust. Int. J. Hyg. Environ. Health 207 (2004) 409–417

Umweltbundesamt 2004 b – Becker, K.,Seiwert, M., Angerer, J., Hoppe, H.-W., Schulz, C., Seifert, B.: GerS IV Pilotstudy: assessment of the exposure of German children to organophosphate and pyrethroid insecticides: Posterpräsentation: International Society of Exposure Analysis, 14 th Conference in Philadelphia/Pennsylvania, USA, 17.- 21.10.2004

Welsh Institute of Rural Sciences; Stiftung Ökologie & Landbau; Forschungsinstitut für biologischen Landbau 2005 – Welsh Institute of Rural Sciences; Stiftung Ökologie & Landbau; Forschungsinstitut für biologischen Landbau (Organic Farming in Europe: Market, Production, Policy & Research, Februar 2005, BioFach Messe, Nürnberg)

Kapitel III

TÜV Automotive GmbH 2003 – TÜV Automotive GmbH, 2003, UBA-Forschungsbericht 201-54-112

Umweltbundesamt 1998 – Babisch, W.: Epidemiological studies on cardiovascular effects of traffic noise. In: Prasher, D., Luxon, L. (Hrsg.): Advances in noise research, vol. 1: Biological effects of noise, p. 312–325. London, Whurr Publishers Ltd., 1998

Umweltbundesamt 2000 – Daten zur Belastung der Bevölkerung durch Lärm. Berlin 2000

Umweltbundesamt 2004 – Auszug BMU-Broschüre: Umweltbewusstsein in Deutschland 2004, Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage

Umweltbundesamt 2004 a – Förderdatenbank der Kreditanstalt für Wiederaufbau, ERP-Umwelt- und Energiesparprogramm, Oktober 2002

Umweltbundesamt 2005 – Abschlussbericht UBA-F&E-Vorhaben FKZ 200-54-135; RWTÜV Fahrzeug GmbH, Ermittlung der Geräuschemission von Kfz im Straßenverkehr, 2005

Kapitel IV

Bundesamt für Strahlenschutz 2003 (BfS), (Hrsg.) – Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 2002/2003, Daten und Bewertung, BfS-Schrift (in Vorbereitung)

Bundesamt für Strahlenschutz 2004 (BfS) – Bereich SH, eigene Zusammenstellung; Schutz des Menschen vor solarer UV-Strahlung, UV-Jahresbericht

Bundesamt für Strahlenschutz 2004 a (BfS) – Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Mitteilung vom 02.12.2004

Bundesamt für Strahlenschutz 2005 (BfS) – Mitteilung vom 16.02.2005

Bundesamt für Strahlenschutz; Umweltbundesamt 2005 – BfS/UBA: Mitteilung des BfS vom 20.01.2005

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2003 – Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2002 (Parlamentsbericht), Deutscher Bundestag, Drucksache 15/1660, Berlin 2003

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2004 – Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2003 (Parlamentsbericht), Deutscher Bundestag, Drucksache 15/3889, Berlin 2004

Deutscher Wetterdienst 2004 (DWD) – Meteorologisches Observatorium Hohenpeißenberg

Europäische Kommission 1990 – Empfehlung der Kommission vom 21. Februar 1990 zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden (90/143 Euratom), Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 80/26 vom 27.03.90

Europäische Kommission 2005 – European Environment Agency (EEA), Statistics – Ozone Depleting Substances, http://europa.eu.int/comm/environment/ozone/statistics_ods.pdf (16.08.2005)

Oberthür 2001 – Sebastian Oberthür, Production and Consumption of Ozone Depleting Substances 1986-1999, GTZ 2001

Statistisches Bundesamt 2005 – http://www.destatis.de/basis/d/umw/umwtab7.php (25.01.2005)

Umweltprogramm der Vereinten Nationen 2002 (UNEP) – United Nations Environmental Programme, Ozone Secretariat: Production and Consumption of Ozone Depleting Substances 1986–2000, April 2002

Umweltprogramm der Vereinten Nationen 2002 a (UNEP) – United Nations Environmental Programme, Ozone Secretariat: Production and Consumption of Ozone Depleting Substances under the Montreal Protocol 1986–2000, April 2002; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Mitteilung vom Januar 2003 und März 2004

US National Oceanic and Atmospheric Administration 2003 (NOAA) – National Weather Service (National Center for Environmental Prediction, Climate Prediction Center) http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere/winter_bulletins/sh_03/Fig_2b.gif

US National Oceanic and Atmospheric Administration 2003 a (NOAA) – Climate Monitoring & Diagnostics laboratory http://www.cmdl.noaa.gov/ozwv/ozsondes/spo/ozppp2003.html

US National Oceanic and Atmospheric Administration 2003 b (NOAA) – National Weather Service (National Center for Environmental Prediction, Climate Prediction Center) http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere/winter_bulletins/sh_03/Fig_4a.gif

World Meteorological Organization 1998 (WMO) – Global Ozone Research and Monitoring Project. WMO Report No. 44, 1998

World Meteorological Organization 2002 (WMO) – WMO/ United Nations Environmental Programme (UNEP): Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002. Executive Summary final. Prep. By the Scientific Assessment Panel of the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer, 23. August 2002, Chapter 1

World Meteorological Organization 2002 a (WMO) – WMO/United Nations Environmental Programme (UNEP), Scientific Assessment of Ozone Depletion 2002

Kapitel V

Bundesländer; Umweltbundesamt 2004 – Messnetze der Bundesländer und des Umweltbundesamtes 2004

Statistisches Bundesamt 2004 – Umweltökonomische Gesamtrechnungen 2004

Umweltbundesamt 2004 – eigene Zusammenstellungen

Umweltbundesamt 2004 a – UBA nach Angaben des Hygieneinstitutes des Ruhrgebietes, des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen und des Sächsisches Landesamtes für Umweltschutz und Geologie 2004

Umweltbundesamt 2005 – eigene Zusammenstellungen

Kapitel VI

Abwassertechnische Vereinigung 2002 – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (ATV – DVWK), Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen 2002

Bach et al. 2000 – Bach u.a.: Schätzung der Einträge von Pflanzenschutzmitteln aus der Landwirtschaft in die Oberflächengewässer Deutschlands. Umweltbundesamt, UBA-Berichte 3/00, Berlin, 2000

Behrendt et al., UBA-Texte 82/03 – H. Behrendt, u.a.: Internationale Harmonisierung der Quantifizierung von Nährstoffeinträgen aus diffusen Quellen in die Oberflächengewässer Deutschlands. Umweltbundesamt, UBA-Texte 82/03, 2003

Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft 2003 (BMVEL) – Statistisches Jahrbuch 2003

EMEP 2000 – EMEP (Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air pollutants in Europe), EMEP Report 1/1997, 1/1998 und 1/2000

EMEP 2004 – EMEP/MSC-W Note 3/98

EMEP 2004 a – EMEP/MSC-W Report 1/98 und 1/99

Helsinki-Kommission 2004 – Helsinki Commission, Fourth Baltic Sea Pollution Load Compilation (PLC-4), Baltic Sea Environment Proceedings no. 93, 2004

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 1998 (LAWA) – Beurteilung der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern in der Bundesrepublik Deutschland – Chemische Gewässergüteklassifikation. Berlin, 1998

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 2002 (LAWA) – Gewässergüteatlas der Bundesrepublik Deutschland, Gewässerstruktur in der Bundesrepublik Deutschland 2001, Hannover, 2002

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 2004 (LAWA) – 2. Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit – Pflanzenschutzmittel, 2004

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Darstellung Umweltbundesamt 2000 – LAWA, Gewässergüteatlas der Bundesrepublik Deutschland – Biologische Gewässergütekarte 2000, Hannover, 2002; Darstellung: Umweltbundesamt 2000

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Darstellung Umweltbundesamt 2001 – LAWA, Gewässergüteatlas der Bundesrepublik Deutschland, Gewässerstruktur in der Bundesrepublik Deutschland 2001, Hannover, 2002; Darstellung: Umweltbundesamt, 2001

Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern 2004 (Hrsg.) – Gewässergütebericht Mecklenburg-Vorpommern 2000/2001/2002: Ergebnisse der Güteüberwachung der Fließ-, Stand- und Küstengewässer und des Grundwassers in Mecklenburg-Vorpommern

M. Bach und H.-G. Frede, Universität Gießen 2004 – M. Bach und H.-G. Frede, Universität Gießen, Institut für Ressourcenmanagement, 2004

M. Bach, Universität Gießen, UBA-Texte 82/03 – H. Behrendt, M. Bach, u.a.: Internationale Harmonisierung der Quantifizierung von Nährstoffeinträgen aus diffusen Quellen in die Oberflächengewässer Deutschlands. Umweltbundesamt, UBA-Texte 82/03, 2003

MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004 – MUDAB 2004 (Meeresumwelt-Datenbank) Umweltbundesamt-UMPLIS/Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH); Bund-Länder-Messprogramm für die Nord- und Ostsee

MUDAB (Umweltbundesamt, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie) 2004 a – MUDAB (Meeeresumwelt-Datenbank) Umweltbundesamt-UMPLIS/Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH); Institut für Ostseeforschung, Landesamt für Natur und Umwelt

nach Braukmann et al. verändert 2001 – Braukmann, U., Biss, R., Kübler, P., Pinter, I.: Ökologische Fließgewässerbewertung. Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL) – Tagungsbericht 2000 (2001)

Niedersächsisches Landesamt für Ökologie 2004 – Forschungsstelle Küste 2004 (heute: Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Betriebsstelle Brake-Oldenburg)

OSPAR-Kommission 2000 – OSPAR Commission for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic. Quality Status Report 2000, Region II Greater North Sea, London 2000

OSPAR-Kommission 2003 – OSPAR 03/5/2-Add.1, 2003; Stand 2003

OSPAR-Kommission; EMEP 2001 – OSPAR Assessment Workshop, Den Haag, März 1998; EMEP/MSC-E Report 5/98, EMEP Report 3/2000, EMEP Report 3/2001

Röpke, B., Bach, M. 2004 – Prediction of Pesticide Concentrations in German River Basins from Diffuse Agricultural Inputs. Umweltbundesamt, UBA-Berichte 2/04, Berlin, 2004

S. Fuchs, U. Scherer, UBA-Texte 54/02 – S. Fuchs, U. Scherer: Quantifizierung der Schwermetalleinträge aus Deutschland zur Umsetzung der Beschlüsse der Internationalen Nordseeschutzkonferenz, Universität Karlsruhe. Umweltbundesamt, UBA-Texte 54/02, 2002

Statistisches Bundesamt 2003 – Fachserie 19 Umwelt, R. 2.1 Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung (1991, 1995, 1998, 2001)

Statistisches Bundesamt 2003 a – Fachserie 19 Umwelt, R. 2.2 Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung im Bergbau und Verarbeitenden Gewerbe und bei Wärmekraftwerken für die öffentliche Versorgung (2001)

Statistisches Bundesamt 2004 – Umweltökonomische Gesamtrechnungen 2004

Theobald, N. und Gerwinski, W., Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie 2004 – Über das Vorkommen der WRRL-Substanzen im Wasser von Nord- und Ostsee. Tagungsband zum Workshop der Qualitätssicherungsstelle des Bund/Länder-Messprogramms Nord- und Ostsee (BLMP) organisiert durch die Qualitätssicherungsstelle beim UBA in der INA auf der Insel Vilm. 2004, S. 80-89

Umweltbundesamt 2002 – Daten aus UBA-Texte 54/02

Umweltbundesamt 2002 a – Umweltbundesamt, UBA-Messnetz, Datenlieferung für OSPAR-Station Westerland

Umweltbundesamt 2003 – Umweltbundesamt, Daten aus UBA-Texte 82/03

Umweltbundesamt 2003 a – UBA nach van Beusekom et al. (2001) : Wadden Sea Specific Eutrophication Criteria.-Wadden Sea Ecosystem No. 14 Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany, 2003; BROCKMANN et al. (2002): Assessment Criteria for Eutrophication Areas

Umweltbundesamt 2004 – Zusammenstellung des Umweltbundesamtes nach Angaben des Institutes für Seenforschung der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

Umweltbundesamt 2004 a – Zusammenstellung des Umweltbundesamtes nach Angaben des Umweltministeriums Mecklenburg-Vorpommern

Umweltbundesamt 2004 b – eigene Zusammenstellungen

Umweltbundesamt 2004 c – Daten aus OSPAR-Kommission (INPUT-Arbeitsgruppe), 2004

Umweltbundesamt 2004 d – Umweltprobenbank des Bundes (www.umweltprobenbank.de)

Umweltbundesamt 2004 e – UBA, Fotograf: Ulrich Claussen, 2004

Umweltbundesamt 2004 f – UBA Forschungsprojekt „Eutrophierungsklassifizierung Deutsche Bucht“ (FKZ 201 25 218), Laufzeit bis 31.03.2006, Projektleiter Dr. Uwe Brockmann, Universität Hamburg, Institut für Biogeochemie und Meereschemie

Umweltbundesamt 2004 g – Daten aus den Landesämtern für Natur und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein, 2004

Umweltbundesamt 2004 h – UBA-Messnetz, Datenlieferung für OSPAR-Station Zingst

Umweltbundesamt 2005 – eigene Zusammenstellungen

Umweltbundesamt, Daten der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 2002 – UBA/ LAWA, Gewässergüteatlas der Bundesrepublik Deutschland, Gewässerstruktur in der Bundesrepublik Deutschland 2001, Hannover, 2002

Umweltbundesamt, Daten der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 2002 a – UBA/LAWA, Gewässergüteatlas der Bundesrepublik Deutschland – Biologische Gewässergütekarte 2000, Hannover, 2002

Umweltbundesamt, Daten der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 2004: Umweltbundesamt, Zusammenstellung nach Angaben der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser

Kapitel VII

Bergs, C. G – Rechtliche Grundlagen für die Verwertung von Komposten und anderen Bioabfällen im Landbau. Müllhandbuch, Kennzahl 6502

Bioabfallverordnung (BioAbfV), 1998 – BioAbfV (Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden) vom 21. September 1998 (BGBl. I S. 2955), geändert durch Art. 5 Verordnung zur Umsetzung des Europäischen Abfallverzeichnisses vom 10. Dezember 2001 (BGBl. I S. 3379), durch Art. 3 Verordnung zur Änderung abfallrechtlicher Nachweisbestimmungen vom 25. April 2002 (BGBl. I S. 1488) und durch § 11 Düngemittelverordnung vom 26. November 2003 (BGBl. I S. 2373)

Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz 2000 (LABO) – Cadmiumanreicherung in Böden/einheitliche Bewertung von Düngemitteln, Bericht der UMK-AMK_LABO_AG. Der Bericht wurde von der 26. ACK im Oktober 2000 zur Kenntnis genommen.

Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz 2003 (LABO) – Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. In: Handbuch Bodenschutz; Hrsg.: Rosenkranz, Bachmann, König, Einsele. Loseblattsammlung. Kennziffer 9006, Berlin 2003

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung 2003 (BBR) – Eigene Berechnungen auf der Grundlage der laufenden Raumbeobachtung, www.bbr.bund.de

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung; Statistisches Bundesamt 2003 – Statistisches Bundesamt: Durchschnitt der Jahre 1993-1996, 1997 und ab 2001; 1997-2000 Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung 2004 (BBR) – Raumordnungsprognose 2020

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung 2005 (BBR) – Raumordnungsbericht 2005. Berichte Bd. 21, Bonn. Seite 257

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 2004 (BGR) – Hannover, 2004

Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V. 2002 – Mitteilung vom 03.03.2000, Daten der Jahre 1991 bis 1999; Reinhold, J.: Neubewertung von Kompostqualitäten. UBA-Texte 15/04, Daten des Jahres 2002

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2002 (Hrsg.) – BMU/Umweltbundesamt: Dioxine – Daten aus Deutschland – 3. Bericht der Bund/Länder AG Dioxine, Berlin 2002

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2003 – BMU entsprechend Berichtspflicht der Länder nach Klärschlammverordnung und EU-Klärschlamm-Richtlinie

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2004 – BMU entsprechend Berichtspflicht der Länder nach Klärschlammverordnung und EU-Klärschlamm-Richtlinie

EMEP 2003 – EMEP (Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air pollutants in Europe), MSC-W Technical Report 1/03: Vestreng, V.: Review and Revision. Emission data reported to CLRTAP. MSC-W Status Report 2003

EMEP 2003 a – EMEP Status Report 1/2003 Part III: Tarrasón, L. et al., Transboundary acidification, eutrophication and ground level ozone in Europe: Source-Receptor Relationships – EMEP/MSC-W Report (appendix A), DNMI, Oslo, 2003

EMEP 2004 – EMEP Information Note 4/2004: EMEP contribution to preparatory work for the review of the CLRTAP Protocol on Heavy metals (annex D), EMEP/MSC-E, Moskau, 2004

EMEP 2004 a – EMEP Status Report 1/04: Tarason, L. et al.: Transboundary acidification, eutrophication and ground level ozone in Europe, Joint MSC-W & CCC & CIAM & ICP-M&M & CCE Report, 2004

Eurostat 2003 – Datenbank New Cronos; Statistisches Bundesamt, 10. Koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung 2003, S. 12,13

Kaiser et al. 1998 – Kaiser, T., Schwarz, W., Frost, M.: Einträge von Stoffen in Böden – eine Abschätzung des Gefährdungspotentials. Berlin 1998

North Atlantic Treaty Organization 1998 – Committee on Challenges of modern Society (NATO/CCMS) International toxicity equivalency factor (TEF) method of risk assessment for completely mixtures of dioxins and related compounds. Pilot study on international information exchange on dioxins and related compounds, report no. 176, 1988; Van den Berg et al.: Toxic Equivalency Factors (TEFs) for PCBs, PCDDs, PCDFs for Humans and Wildlife Environmental Health Perspectives Volume 106, Number 12, 1998

Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2004 – www.statistik-portal.de/Statistik-Portal/de_inhalt01.asp

Statistisches Bundesamt 2000 – Stand: 31.12.2000; Karte Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) 2002

Statistisches Bundesamt 2003 – www.destatis.de

Statistisches Bundesamt 2003 a – 10. Koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung, Wiesbaden 2003

Statistisches Bundesamt 2004 – Statistisches Bundesamt 2004; Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) 2004 (www.bbr.bund.de/raumordnung/siedlung/flaechenerhebung_2004.htm)

Umweltbundesamt 2002 – Datenbank DIOXINE, eigene Zusammenstellung, 2002

Umweltbundesamt 2004 – eigene Zusammenstellungen

Umweltbundesamt 2004 a – UBA auf Basis der im Altlastenausschuss des LABO abgestimmten Datenerhebung aus den Ländern

Umweltbundesamt 2005 – Zusammenstellung nach Bundesbodenschutzverordnung und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit – 2. Bericht der Bund/Länder-Arbeitsgruppe DIOXINE (Bonn 1993)

Kapitel VIII

Bundesamt für Naturschutz 2004 (Hrsg.) – Daten zur Natur 2004

Bundesamt für Naturschutz 2004 a (Hrsg.) – Daten zur Natur 2004 (nach Angaben der Länder)

Bundesamt für Naturschutz 2004 b (Hrsg.) – Daten zur Natur 2004 (nach Deutsches MAB-Nationalkomitee und nach Angaben der Länder)

Bundesamt für Naturschutz 2004 c (Hrsg.) – Daten zur Natur 2004 (Flächenangaben nach Angaben der offiziellen elektronischen Meldebestände der Bundesländer, Abweichungen von den über GIS ermittelten Flächengrößen sind möglich)

Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft 2004 (BMVEL) – Bericht über den Zustand des Waldes 2004 – Ergebnisse des forstlichen Umweltmonitorings

Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft 2004 a (BMVEL) – Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland, verschiedene Jahrgänge Agrarbericht

Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft 2004 b (BMVEL) – Ref. 526

Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft 2004 c (BMVEL) – BMVEL; Programme for the Endorsement of forest Certification Schemes – Deutschland e.V. (PEFC), 2004; Forest Stewardship Council (FSC), 2004; Bundesamt für Naturschutz (BfN), 2004

Europäische Kommission 2004 – Generaldirektion Umwelt 2004

Monitoring Institute for Rare Breeds and Seeds in Europe 2003 – www.monitoring.eu.com

Netzwerk alpiner Schutzgebiete 2005 – www.alparc.org/deu/index.phtml?sec=esp&partie=2

Riecken et al. 1994 – Riecken, U., Ries, U. & Ssymank, A. (1994): Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen der Bundesrepublik Deutschland. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 41

Umweltbundesamt 2004 – Auswertung in FG II 5.2 anhand der Daten der Messnetze der Länder und des Umweltbundesamtes

Umweltbundesamt 2005 – eigene Berechnungen, Februar 2005

Umweltbundesamt 2005 a – UBA nach Angaben von M. Bach und H.-G. Frede, Institut für Ressourcenmanagement, Universität Gießen, 2005

Umweltbundesamt 2005 b – UBA; Universität Stuttgart, Institut für Navigation: UBA Vorhaben 299 42 210: „Kartierung ökologischer Langzeittrends atmosphärischer Stoffeinträge und Luftschadstoffkonzentrationen in Deutschland und deren Vergleich mit Critical Loads und Critical Levels“, Abschlussbericht 2003; Öko-Data GmbH: UBA-Vorhaben 200 85 212: „Critical Loads für Säure und eutrophierenden Stickstoff“, Abschlussbericht 2005.

Vereinte Nationen, Wirtschaftskommission für Europa 2004 (UNECE) – UNECE; Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH), The Condition of Forests in Europe. 2004 Executive Report, Geneva 2004 (http://www.icp-forests.org/pdf/ER2004.pdf)

Kapitel IX

Bundesanstalt für Gewässerkunde 2004 (BfG) – Mitteilung vom 01.10.2004

Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e. V. 2002 – im Internet, http://www.bundesverband-gas-und-wasser.de/publik/guidedtour/index40.html

Statistisches Bundesamt 2003 – Fachserie 19 Umwelt, Reihe 2.1 Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung (1991, 1995, 1998, 2001)

Statistisches Bundesamt 2003 a – Fachserie 19 Umwelt, R. 2.1 Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung, verschiedene Jahrgänge; Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e. V

Statistisches Bundesamt 2003 b – Fachserie 19 Umwelt, R. 2.2 Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung im Bergbau und Verarbeitenden Gewerbe und bei Wärmekraftwerken für die öffentliche Versorgung (1991, 1995); R. 2.2 Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung in der Industrie und in der Landwirtschaft (1998); R. 2.2 Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung (2001)

Statistisches Bundesamt 2003 c – Umwelt/Umweltproduktivität, Bodennutzung, Wasser, Abfall, Schaubild 3, Wiesbaden 2003, (www.destatis.de/download/d/ugr/ugrbericht03.pdf)

Statistisches Bundesamt 2004 – Umweltnutzung und Wirtschaft, Tabellen zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 2004, Tab. 2, Wiesbaden 2004

Statistisches Bundesamt 2004 a – Umweltnutzung und Wirtschaft, Tabellen zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 2004, Tab. 5, Wiesbaden 2004

Statistisches Bundesamt 2004 b – Umweltnutzung und Wirtschaft, Tabellen zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 2004, Tab. 2 und 6, Wiesbaden 2004

Statistisches Bundesamt; Bundesanstalt für Gewässerkunde 2004 – Statistisches Bundesamt, Fachserie 19 Umwelt, R. 2.1 Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung 2001, R. 2.2 Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung in der Industrie 2001; Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung in der Landwirtschaft 2002; Bundesanstalt für Gewässerkunde: Mitteilung vom 18.3.2004

Umweltbundesamt nach Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Statistisches Bundesamt, Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2004 – UBA, eigene Berechnungen nach AG Energiebilanzen, Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2003, Stand Oktober 2004 (http://www.ag-energiebilanzen.de/daten/gesamt.pdf), Statistisches Bundesamt, Umweltnutzung und Wirtschaft. Tabellen zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 2004, Tab. 2, Wiesbaden 2004 (Bruttoinlandsprodukt ab 1991) sowie Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Wochenbericht, 2003

Kapitel X

Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau 2003 – 3. Monitoringbericht Bauabfälle (Erhebung: 2000), Berlin-Düsseldorf-Duisburg, 31. Oktober 2003

Bundesamt für Strahlenschutz 2002 (BfS) – Jährliche Berichte des BfS zur Abfallerhebung für die Jahre 1996 bis 2001, (www.bfs.de/www/kerntechnik/CNS_02_D.pdf)

Bundesamt für Strahlenschutz 2004 (BfS) – Salzgitter, 26.11.2004, (www.bfs.de/transport/gv/dezentrale_zl/standort)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2004 (BMU) – Übereinkommen über die Sicherheit der Behandlung abgebrannter Brennelemente und über die Sicherheit der Behandlung radioaktiver Abfälle; Bericht der Bundesrepublik Deutschland für die erste Überprüfungstagung im November 2003, 05.Mai 2003; Bundesamt für Strahlenschutz, Mitteilung vom 08.12.2004 (www.bmu.de/files/behandlung_brenn.pdf)

CONSULTIC Marketing & Industrieberatung GmbH 2004 – Produktions- und Verbrauchsdaten für Kunststoffe in Deutschland unter Einbeziehung der Verwertung 2003, August 2004

Gesellschaft für Glasrecycling und Abfallvermeidung mbH 2004 – Ravensburg (03.08.2004), www.glasaktuell.de/files_download/sammlung_verwertung_1993-2003_versand_23.02.04.pdf

Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH 2004 (GVM) – Wiesbaden, Recycling-Bilanz für Verpackungen, 11. Ausgabe, Dezember 2004

Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH 2004 a (GVM) – Wiesbaden (Getränke insgesamt ohne Milch), Jahresreihen 1991 bis 2002, Januar 2004

Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH 2005 (GVM) – GVM nach Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (www.bmu.de/abfallwirtschaft/doc/3756.php), 29.08.2005

Kraftfahrt-Bundesamt 2003 – Kraftfahrzeugstatistiken. Reihe 1 der amtlichen Statistiken des Kraftfahrt-Bundesamtes, Kusterdingen, verschiedene Jahrgänge; Fraunhofer-Institut für Systemanalyse und Innovationsforschung, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung, Forschungsinstitut für anwendungsorientierte Wissensverarbeitung (FAW): F+E-Vorhaben 297 12 151/02 Informationsgrundlage für das Umweltpräsentationssystem des BMU „Umwelt 2000 im Rahmen des Teilvorhabens 2 des Globalansatzes Expo 2000“, Karlsruhe, Berlin, Heidelberg, Ulm 2000

Pack Marketing GmbH 2004 – Pack Marketing GmbH Frankfurt (bis 1997); Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (Erhebungsergebnisse von der Bundesregierung bekannt gemacht im Bundesanzeiger Nr. 26, S. 2053 vom 07.02.2004)

Statistisches Bundesamt 2003 – Fachserie 19 Umwelt, R. 1 Abfallentsorgung 1996-2003, Tab. 10.2

Statistisches Bundesamt 2004 – Fachserie 19 Umwelt, R. 1 Abfallentsorgung 2002, Tab. 22.1; Statistisches Bundesamt, Erhebung der Abfälle, über die Nachweise zu führen sind (Begleitschein) – Ergebnisbericht 2002, Bonn, Oktober 2004

Statistisches Bundesamt 2004 a – Fachserie 19 Umwelt, R. 1 Abfallentsorgung, verschiedene Jahrgänge; Abfallentsorgung 2003 – Ausgewählte vorläufige Ergebnisse der öffentlichen und betrieblichen Abfallentsorgung, Bonn, Dezember 2004

Statistisches Bundesamt 2004 b – Umweltnutzung und Wirtschaft. Tabellen zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 2004, Tab. 148, Wiesbaden 2004

Statistisches Bundesamt 2004 c – Fachserie 7 Außenhandel, R. 2 Außenhandel mit Waren (Spezialhandel), verschiedene Jahrgänge

Statistisches Bundesamt 2005 – www.destatis.de/themen/d/thm_umwelt1.php (24.08.2005)

Statistisches Bundesamt 2005 a – http://www.destatis.de/themen/d/thm_umwelt1.htm (08.03.2005) und http://www.destatis.de/themen/d/thm_volksw.php (22.02.2005); Umweltbundesamt, eigene Berechnung

Statistisches Bundesamt 2005 b – Fachserie 19 Umwelt, R. 1 Abfallentsorgung 1996-2003, Tab. 21.1, Wiesbaden, 2002-2005

Statistisches Bundesamt 2005 c – Fachserie 19 Umwelt, R. 1 Abfallentsorgung 1996-2003, Tab. 1.2, Wiesbaden 2002-2005

Statistisches Bundesamt 2005 d – Fachserie 19 Umwelt, R. 1 Abfallentsorgung 1996-2002, Einleitung und Tab. 18-20, Wiesbaden 2002-2005

Statistisches Bundesamt 2005 e – http://www.destatis.de/themen/d/thm_umwelt1.htm (16.06.2005)

Stiftung Gemeinsames Rücknahmesystem Batterien 2004 (GRS Batterien) – Erfolgskontrolle. Hamburg, im März 2004, Abb. 9.1

Umweltbundesamt 2004 – UBA auf Grundlage der Daten aus Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA), Bericht vom 31.8.2004

Umweltbundesamt 2004 a – UBA, eigene Erhebung, 29.07.2004

Umweltbundesamt 2004 b – Anlaufstelle Basler Übereinkommen, eigene Zusammenstellung auf Basis der Notifizierungsunterlagen, 26.07.2004

Umweltbundesamt 2004 c – Anlaufstelle Basler Übereinkommen, eigene Zusammenstellung auf Basis der Notifizierungsunterlagen, 27.08.2004

Umweltbundesamt 2004 d – Anlaufstelle Basler Übereinkommen, eigene Zusammenstellung auf Basis der Notifizierungsunterlagen, 22.11.2004

Umweltbundesamt 2005 – UBA, Umfrage bei den Ländern, Juni 2005

Umweltbundesamt; IFEU-Institut 2003 – UBA-eigene Zusammenstellung auf Basis von Angaben der Bundesländer

Verband Deutscher Papierfabriken e. V. 2004 – Papier 2004, Ein Leistungsbericht

Stichwortverzeichnis

1.1.1-Trichlorethan 108

A

Abfallaufkommen 293 ff.
Abfallbehandlung 296, 300, 314 ff.
Abfallstatistik 293, 295, 311
Abfallverbringung 321 ff.
Ablagerung 315 ff., 322, 326, 329
Acceptable Daily Intake 74
Adsorbierbare Organische Halogene (AOX) 236
Agenda 21 217, 264, 276
Agrarumweltförderung 267 f.
Agrarumweltmaßnahme 265, 267 f.
Agrarumweltprogramm 82, 267
Alpen 253 ff.
Alpenraum 251 ff.
Altbatterien 310
Altfahrzeugverwertung 312
Altglas 304 ff., 309
Altlasten 134, 165, 197 f., 220, 238 ff., 250, 256 f.
Ammoniak 111 ff., 128, 139, 225, 248 f., 258 ff.
Ammonium 84, 139 f., 153, 225, 229, 231 ff., 261 f.
Ammonium-Stickstoff 139 f., 140
AOX 139, 149 f., 235 f.
Apfelbäume 16
Arbeitsgemeinschaft für Ökologischen Landbau 82
Arbeitsplatz 75 f.
Arsen 76, 133 f., 148 f., 159, 186 f.
Artenindex 247
Artenschwund 243, 329
Artenvielfalt 243 ff., 256, 258 ff.
Aufhaldungen 315
Ausschließliche Wirtschaftszone 214, 280

B

Badegewässer 84 ff.
Ballungsgebiet 111, 123, 255, 286
Bau- und Abbruchabfälle 293, 300, 315 f.
Bauabfälle 293, 312 f.
Benzol 123 f., 169
Bergematerial 293 f., 315 f.
Besonders überwachungsbedürftige Abfälle 294 ff., 314 ff.
BImSchV 49 ff., 89, 100, 112, 117 ff., 224, 264, 317 f.
Bioabfälle 232 f., 238, 313 f.
Biodiversität 243, 251 f.
biologische Gewässergütekarte 129, 136 f.
biologische Vielfalt 243 ff.
Biomasse 19, 29 ff., 38, 40, 51, 68, 112, 140, 175 f., 202, 263
Biosphärenreservat 253, 269 ff.
Biotoptypen 244 ff, 279
Biotopverbundsystem 269
Biozide 72, 74, 157
Biozönose 243
Blei 70, 133 f., 147 ff., 222 ff.
Blut 69 ff.
Blutplasma 70, 72 f.
Bodenaushub 293, 312 f., 315
bodennahes Ozon 40, 114, 118, 258, 263 f.
Bodensee 140, 143, 253, 270, 278
Bodenzustand 220, 249
Braunkohle 35 f., 47 f., 127, 212, 240, 284 f., 315
Brennelemente 297 ff.
BSB_7 187 f.
Bund Ökologische Lebensmittelwirtschaft 83
Bundes-Immissionsschutzgesetz 100, 111 f., 124
Bundesamt für Naturschutz 247, 257, 275, 280
Bundesinformationssystem Genetische Ressourcen (BIG) 246
Bundesnaturschutzgesetz 152, 214, 247, 256 f., 269, 278 f.

C

Cadmium 77, 80, 147 ff., 226 ff.
Chlorkohlenwasserstoffe 149
Chrom 147 ff., 153, 159, 186 f., 209, 233 ff.
Cotinin 75 f.
Critical Loads 249, 260 ff.

D

Dachverband Deutscher Avifaunisten 247
DEHP 72 ff.
Deponien 20, 126, 133, 295, 304, 313 ff., 322
Deposition 67, 143 ff., 159 ff., 177 ff., 225 ff., 249 ff., 260 ff.
Deutschen Gesellschaft für Züchtungskunde e.V. (DGfZ) 266
Dioxine 77 ff., 222 ff.
Distickstoffoxid 11, 20, 25, 67, 128
Donau 132 ff., 146, 277 f.
Drei-Wege-Katalysators 59, 123
Düngeverordnung 67, 139, 145 ff., 156, 260

E

Eigenentsorgung 314
Einweggetränkeverpackungen 302
Elbe 132 ff., 146 ff., 272 ff.
Elektro- und Elektronik-Altgeräte 306 ff.
Emissionsfaktoren 127
Emissionsgrenzwerte 50, 61, 89
Emissionshandel 22 ff., 42 ff., 64, 320
Emittenten 25 ff., 66, 111 f., 220

Endenergieverbrauch 32 ff., 41, 47 ff.
energetischen Prozesse 111
Energieeffizienz 24, 29, 33 ff., 51, 259
Energieeinsparverordnung (EnEV) 28, 41, 48, 50
Energieproduktivität 29, 285 f.
Entfernungspauschale 31, 256
Entsorgungswirtschaft 314 f.
erneuerbare Energien 29, 33 ff.
Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) 40, 91, 215
Erosionsrisiko 241
Erwärmung 11 ff., 28, 63, 209
Escherichia coli 85
EU-Altstoffprogramm 75
Europäische Umweltagentur 23, 156
Europäische Union 22 f., 43, 62, 75, 82, 217, 243
Europäischen Ausrichtungs- und Garantiefonds für die Landwirtschaft (EAGFL) 267 f.
Eutrophierung 114, 143, 157, 175 ff., 199 ff., 244, 258 ff.

F

Fahrleistungen 53 f., 87
FAO 254 f., 264 ff.
Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie 278, 280
FCKW 11 ff., 18 ff., 103, 107 ff., 308 f.
Feinstaub 112, 117 f., 225 ff.
Feuchtgebiete 19, 146, 184, 260, 277 f.
Flächeninanspruchnahme 214, 244, 247, 255 ff., 292
Flächennutzung 130, 211, 256, 291
Flammschutzmittel 75 f.
Fleisch 75, 79 f.
flüchtige organische Verbindungen 112, 118, 121, 258, 263
Fluglärm 87 f., 90
Flugverkehr 11, 57, 63 ff., 87
Fluorchlorkohlenwasserstoffe 11 f., 21
Fragmentierung 246, 255 f.
Furane 78 f., 223, 236

G

Gartenbau 74, 77, 233, 264 f.
Geburtenrate 216 f.
Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ (GAK) 267
Genbank 247
genetische Ressourcen 246, 264 f.
genetische Vielfalt 243, 246
Genreserven 266
Geothermie 33, 38, 40
Geräusch 87 ff.
Geräuschbelastung 87
Gesamtphosphor 139 ff., 159, 186, 199
Gesamtstickstoff 139 ff., 159, 165, 186, 191
Gesundheitsschutz 118
Gewässernetz 136
Gewässerstrukturkarte 129 ff.
Gold 71
Großfeuerungsanlagenverordnung 113
Grünalge 175, 179 ff.
Grundwasser 83, 135, 139, 143 ff., 184 ff., 211, 259, 286 ff.
Gülle 67, 139, 233 ff., 249, 259
H-FBKW 107 f.
H-FCKW 107 ff.

H

Halone 11 f., 18, 21, 103, 107 ff.
Hausstaub 69, 72 ff.
Hautkrebs 100 ff.
HELCOM 157, 184 ff.
Herbizid 152, 194
Herzkrankheiten 88
Hexachlorbenzol 72, 78, 165 ff., 173, 191 ff.
Hintergrundwerte 138, 157, 170, 220 ff.
Holzschutzmittel 72
Human-Biomonitoring 69 ff.
Humanprobenbank 70 ff.

I

Immissionsdaten 111
Industrie- und Gewerbelärm 87
Informationszentrum Biologische Vielfalt (IBV) 247
Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK) 247
IPCC 14, 17, 19 f., 66, 68, 111 f., 127
IUCN 243 f., 253, 271

K

Kernenergie 28 ff.
Kläranlage 84, 138 ff., 259, 317
Klärschlamm 32, 204 ff., 224, 235 ff., 317, 327
Klima 11 ff., 251 ff.
Klimamodelle 14
Klimarahmenkonvention 19
Klimaschutzprogramm 24, 28 ff., 319
Klimaschutzziele 28, 30, 33
Klimatrends 15
Klimawandel 11 ff.
Kohlendioxid 11 ff.
Kommission Human-Biomonitoring 69, 76
Kompost 233 ff., 294, 313 ff.
Kraft-Wärme-Kopplung 28 ff., 42, 47, 51
Kraftstoffverbrauch 35, 38, 53, 55, 58, 65, 91, 212, 286
Kraftwerke 26, 34 ff., 47, 51, 93, 112, 115, 185, 209, 286 ff., 317, 320
Kreislaufwirtschaft 283 f., 293
Kunststoffabfälle 307 f.
Kupfer 147 ff., 233 ff.
Küstengebiete 188 f., 194, 215
Kyoto-Protokoll 21 ff., 42 ff.

L

Landschafts- und Lebensraumtypen 247
Landschaftsschutzgebiet 269 ff.
Landwirtschaft 12 ff., 41, 66 ff., 112, 127 ff., 211 ff., 313, 322
Landwirtschaftsfläche 146, 211, 255, 268, 290
Lärm 53, 87 ff., 255
Lärmschutz 89 ff.
Lebensmittel 69 ff., 93, 172, 223
Lebensmittel-Monitoring 76 ff.
„Level I"-Programm 248
„Level II"-Programm 248
Lkw-Maut 29, 64 f.
Luftqualität 111 f.
Luftreinhaltekonvention 114, 225, 261 ff.
Luftreinhaltemaßnahmen 111, 261
Luftreinhaltung 111 ff., 127 f., 209, 258 f., 295, 320
Luftschadstoffe 40, 64, 111 f., 127 f., 225 f., 247 f., 251 f., 285
Lufttemperatur 13, 15
Luftverkehr 32, 53 ff., 63, 87, 112
Luftverunreinigung 111, 118, 123, 225, 248, 258 ff.
Lungenkrebs 96 f.

M

Makrozoobenthos 136, 138, 201 f.
Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien 40
Meeresschutzkonventionen 146
Mehrweganteile 301 ff.
Methan 11, 14, 18 ff., 24, 26, 60, 66, 111, 259, 318 f.
Methylbromid 107 ff.
Milch 75, 79, 223, 301 ff.
Milchfett 75
Mineraldünger 112, 146, 236, 259
Mineralöl 30 ff., 41 ff., 63 ff., 112, 134, 208
Mineralölsteuer 30 f., 63 ff.
Mobilfunknetz 100
Montrealer Protokoll 22, 103, 106 ff.
Müllverbrennungsanlagen 316 ff.
Müritz 143, 272, 278
Muttermilch 69, 75, 223

N

Nachbarschaftslärm 87, 90
Nachhaltigkeitsstrategie 28, 30, 37, 39, 55, 213, 247, 255, 258 ff., 268, 283 ff.
Nährstoffe 84, 129, 137 ff., 158 ff., 199., 233., 250 ff.
Nährstoffeinträge 118, 140, 143 ff., 162, 180, 185, 199, 244, 259
Nahrungskette 72, 75, 78 ff., 174, 223
Nationaler Allokationsplan 45
Nationalpark 170, 181, 269 ff.
Naturgas 32 f.
Naturpark 253, 269 ff.
Naturschutzgebiet 270 ff.
Naturwaldreservat 270 ff.
Nickel 147 ff., 186 ff., 233 ff.
Niederschlag 15 ff., 133 ff., 149, 153, 225, 229 ff., 287
Nikotin 75 f.
Nitrat 77 ff., 139 ff., 177 ff., 249
Nitrat-Stickstoff 139 f.
Nitratrichtlinie 147, 156
Nutztierrassen 246, 254 f., 267

O

Oberflächenwasser 83, 145, 156, 194, 287, 289
Ökolandbau 82, 267
Ökologische Finanzreform 31
Ökologische Steuerreform 30 ff., 55
Ökologischer Landbau 82 f., 268
Ökosystem 14, 21, 104, 113, 145, 157, 175, 200, 225, 243 ff.
organische Umweltchemikalien 136, 149 f.
Organophosphate 74, 76
OSPAR 157 ff., 172 ff.
OSPAR-Übereinkommen 175
Ozon 11 ff., 40, 59, 101 ff., 225, 248 ff.
Ozonepisode 121
Ozonloch 103 ff.
Ozonschicht 102 ff.
Ozonüberschreitung 119
Ozonvorläufer 123
Ozonvorläuferstoff 118, 121
Ozonwirkungen 248, 262

P

Partikelfilter 59, 123
Passivrauchen 76
PCB 77 ff., 166, 171 ff., 195 ff., 236
PCB-Gehalte 174, 195
PCP 72
Pentachlorphenol 72, 157, 168 f., 222
perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe 11, 19
persistente organische Verbindungen 77, 165
Personenverkehr 53 ff.
Pfandpflicht 302
Pflanzenschutzmittel 77, 138 ff., 235, 268
pH-Werte 200, 229
Phosphat 139 ff., 199, 236 ff.
Phosphor 135 ff., 199, 206, 234, 259
Photooxidantien 225, 263, 304
Phthalate 73
Phytoplankton 136, 138, 162, 175 ff., 199 ff.
Platin 71
polyzyklische Kohlenwasserstoffe 71
POP 78, 165 f., 191, 222
Primärenergieverbrauch 18, 28, 32 ff., 285 f.
Private Haushalte 24, 29, 66, 286, 288
Produktivität 283 ff.
Produzierendes Gewerbe 31, 126, 320
Pyrethroide 74

Q

Quecksilber 77, 80 f., 147 ff., 153 ff., 186, 189 ff., 226 ff., 306 ff.

R

radioaktive Abfälle 293, 296
Radon 93 ff.
Ramsar-Gebiete 277
Raucher 71 ff., 96
Raumordnung 56, 90, 213 ff., 256, 273
REACH 69
Regenerationsfähigkeit 244 ff., 273
Regionalplanung 56, 215 f.
Rhein 135, 140, 146, 149, 158, 169, 176, 278
Rohstoffproduktivität 283 f.
Röntgenuntersuchung 97 ff.
Rote Liste 244
Ruhr-Universität Bochum (RUB) 247
Ruß 13 f., 49, 52, 123 ff.

S

Saatbeizmittel 72
Salat 80 f.
Schienenverkehr 53, 57, 87 ff., 112
Schneeglöckchen 16, 18
Schutzgebietstypen 269
Schwebstaub 111 f., 115 ff., 124 f.
Schwebstoff 133 ff., 147, 150 ff., 166, 191 f.
Schwefeldioxid 12, 111 f., 118, 123, 127, 226, 258 ff.
Schwefelemission 114
Schwefelhexafluorid 11, 19, 21, 26
Schwermetalle 70, 77, 80, 129, 133, 136, 138 f., 147 ff., 157 ff., 186 ff., 205, 225 ff., 233 ff., 258, 305 f., 209
Siedlungs- und Verkehrsfläche 132, 211 ff., 255 f., 291
Siedlungsabfälle 293 f., 300, 315 ff.
Singvögel 16
Sommersmog 118, 121, 163 f., 304
Sonderabfälle 295, 318
Sonnenbrand 100, 102, 106
Sonnenenergie 33, 38, 51
Spinat 80 f.
Staub-Belastung 116
Steinkohle 27, 31 ff., 48
Stickstoff 67, 140 ff., 157 ff., 206, 226 ff., 249 ff., 284
Stickstoffmonoxid 114, 120
Stickstoffoxid 111 ff., 226, 261 ff.
Stickstoffüberschuss 67, 145 f., 178, 248, 259 f.
Stoffeinträge 129, 133, 136, 148 ff., 190, 233, 246 ff.
Strahlenexposition 93 ff., 101
Straßenverkehr 53 ff., 62, 71, 87 ff., 112, 120, 123, 259
Strom 30 ff., 316
Stromsteuer 30 ff., 65
Suburbanisierung 219

T

Technischen Anleitung Siedlungsabfall 232, 318
teilhalogenierte FCKW 11
Tetrachlorkohlenstoff 107 ff.
Tetrazyklin 233 f.
Textilien 72, 75
Tierhaltung 66 f., 225, 233 ff., 247, 261 f., 266 f.
Toxizitätsäquivalente 79, 223
Transportintensität 29, 55
Treibhauseffekt 11, 13, 18 ff., 32, 40 f., 47, 52, 103
Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz (TEHG) 45 f.
Treibhausgase 11, 13 f., 18, 22 ff., 40, 42, 45, 66 f., 127
Trinkwasser 69 ff., 76, 83 f., 93, 135 ff., 150, 251, 287 f.
Trinkwasserrichtlinie 156
Trinkwasserverordnung 71, 76, 83 f., 135, 156
Trinkwasserversorgung 135, 137, 150 ff., 203

U

Übertägige Verbringung 315
Uferfiltrat 83, 287
Umwelt-Survey 69 ff.
Umweltbewusstsein 87, 146
Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 258, 283, 290
Umweltprobenbank des Bundes 70, 170, 173, 196
Umweltqualitätsnorm 136, 147, 149 ff., 157, 166 ff., 191 ff.
Umweltschutzausgaben 125 ff., 209 f., 320
Untertägige Verbringung 315
unzerschnittene verkehrsarme Räume (UZVR) 256 f.
Urin 69 ff.
UV(B)-Strahlung 114
UV-Strahlung 12, 100 ff.

V

Vegetationsschutz 118
Verbrennungsprozesse 111, 116, 118, 237 f.
Verkehr 20, 24, 26 ff., 211 ff., 246 ff.
Verkehrsleistungen 33, 53 f., 58, 64
Verpackungen 300 ff.
Verpackungsabfälle 300 f.
Versauerung 40, 114, 118, 225, 244, 248 ff.
Vogelschutzrichtlinie 277 ff.
Vorbeifahrtpegel 90 f.

W

Wald 67 ff., 156, 183 f., 211 f., 221 ff.
Waldfläche 82, 211 f., 241 ff., 291, 304
Waldzustand 247 ff., 264
Wasserfläche 183, 211 f., 240, 270, 272, 277, 290 ff.

Wasserhaushaltsgesetz 139, 165
Wasserkraft 32 ff., 131 f.
Wasserrahmenrichtlinie 129, 136, 138, 146 ff., 151, 156 f., 166, 169, 191 f.
Wasserressourcen 286
wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe 11, 19
Wasserversorgung 126, 153, 286 ff., 295
Wasserversorgungsanlage 84
Wat- und Wasservögel 277
Weichmacher 20, 25, 72, 260
wild lebende Pflanzen- und Tierarten 243
Windenergie 33 ff., 91, 215 f.
Windkraft 32 ff., 215, 252
Wintersmog 117
Wintersmogverordnung 111
Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN-ECE) 248, 263
WRRL 129, 138 f., 156 f.

Z

Zentralstelle für Agrardokumentation und -information (ZADI) 247
Zink 147, 149, 153, 159, 163 ff., 186, 189, 191, 233 ff.
Zuteilungsgesetz 2007 29, 44 ff.

Autorenverzeichnis

Wir danken den genannten Personen für ihre Mitwirkung (Textbeiträge, Datenbereitstellung, Beratung) an dem Bericht „Daten zur Umwelt, Ausgabe 2005“

Dr. Ahlers, Jan	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Babisch, Wolfgang	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Bannick, Claus	Umweltbundesamt (UBA)
Bartel, Hans-Holger	Umweltbundesamt (UBA)
Beckmann, Gisela	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Beier, Wolfgang	Umweltbundesamt (UBA)
Behnke, Anja	Umweltbundesamt (UBA)
Benndorf, Rosemarie	Umweltbundesamt (UBA)
Berg, Holger	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Bieber, Elke	Umweltbundesamt (UBA)
Blondzik, Katrin	Umweltbundesamt (UBA)
Boje-Haderer, Rita	Umweltbundesamt (UBA)
Böken, Holger	Umweltbundesamt (UBA)
Böttcher-Tiedemann, Christiane	Umweltbundesamt (UBA)
Bräuniger, Wolfgang	Umweltbundesamt (UBA)
Brenk, Volker	Umweltbundesamt (UBA)
Buchholz, Manuela	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Burger, Andreas	Umweltbundesamt (UBA)
Butz, Wolfgang	Umweltbundesamt (UBA)
Claussen, Ullrich	Umweltbundesamt (UBA)
Dauert, Ute	Umweltbundesamt (UBA)
Dettling, Folke	Umweltbundesamt (UBA)
Diewitz, Carola	Umweltbundesamt (UBA)
Döring, Ulrike	Umweltbundesamt (UBA)
Dosch, Fabian	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

Dressler, Margot	Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft
Dr. Dürkop, Jutta	Umweltbundesamt (UBA)
Ebert, Ina	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Eckelmann, Wolf	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
Eichler, Franziska	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Elsner, Cornelia	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Engelmann, Bernd	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Englert, Norbert	Umweltbundesamt (UBA)
Erdmenger, Christoph	Umweltbundesamt (UBA)
Frauenstein, Jörg	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Fricke, Wolfgang	Deutscher Wetterdienst (DWD)
Ganser, Siegfried	Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft
Dr. Glante, Frank	Umweltbundesamt (UBA)
Gniffke, Patrick	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Gohlisch, Gunnar	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Gregor, Heinz-Detlef	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Grummt, Hans-Jürgen	Umweltbundesamt (UBA)
Hain, Benno	Umweltbundesamt (UBA)
Hanhoff, Ingrid	Umweltbundesamt (UBA)
Hein, Birgit	Statistisches Bundesamt (StBA)
Held, Martina	Umweltbundesamt (UBA)
Helmich, Simone	Umweltbundesamt (UBA)
Henseler, Gernot	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
Henseling, Karl-Otto	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Herata, Heike	Umweltbundesamt (UBA)
Hermann, Tim	Umweltbundesamt (UBA)
Hesse, Andreas	Statistisches Bundesamt (StBA)

Dr. Hoffmann, Caroline	Umweltbundesamt (UBA)
Prof. Dr. Höring, Helmut	Umweltbundesamt (UBA)
Hornemann, Corinna	Umweltbundesamt (UBA)
Huckestein, Burkhard	Umweltbundesamt (UBA)
Hülsmann, Wulf	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Irmer, Ulrich	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Jäcker-Cüppers, Michael	Umweltbundesamt (UBA)
Johnke, Bernt	Umweltbundesamt (UBA)
Junker, Harald	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Kallweit, Dagmar	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Karcher, Silke	Umweltbundesamt (UBA)
Kartschall, Karin	Umweltbundesamt (UBA)
Kaschenz, Helmut	Umweltbundesamt (UBA)
Klett, Gisela	Umweltbundesamt (UBA)
Knetsch, Gerlinde	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Knoth, Wilhelm	Umweltbundesamt (UBA)
Krahe, Peter	Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)
Krause, Bernd	Umweltbundesamt (UBA)
Kühl, Christiane	Umweltbundesamt (UBA)
Künitzer, Anita	Umweltbundesamt (UBA)
Langen, Bernhard	Umweltbundesamt (UBA)
Lauber, Ursula	Statistisches Bundesamt (StBA)
Lehnigk, Karin	Umweltbundesamt (UBA)
Locher, Barbara	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Lopez-Pila, Juan	Umweltbundesamt (UBA)
Lorenz, Andreas	Umweltbundesamt (UBA)
Luebcke, Hans-Holger	Umweltbundesamt (UBA)
Mahrenholz, Petra	Umweltbundesamt (UBA)
Mahrwald, Birgit	Umweltbundesamt (UBA)

Dr. Mathar, Wolfgang	Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (BgVV)
Dr. Mohaupt, Volker	Umweltbundesamt (UBA)
Mohaupt-Jahr, Birgit	Umweltbundesamt (UBA)
Müller-Westermeier, Gerhard	Deutscher Wetterdienst (DWD)
Myck, Thomas	Umweltbundesamt (UBA)
Nasse, Sarah	Statistisches Bundesamt (StBA)
Niederle, Werner	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Ortscheid, Jens	Umweltbundesamt (UBA)
Peglau, Reinhard	Umweltbundesamt (UBA)
Penn-Bressel, Gertrude	Umweltbundesamt (UBA)
Peter, Josef	Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)
Dr. Pohle, Horst	Umweltbundesamt (UBA)
Puder, Franz	Umweltbundesamt (UBA)
Rappolder, Marianne	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Rechenberg, Bettina	Umweltbundesamt (UBA)
Reichart, Almut	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Reiter, Karin	Bundesamt für Naturschutz (BfN)
Richter, Simone	Umweltbundesamt (UBA)
Rodt, Stefan	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Schade, Lars	Umweltbundesamt (UBA)
Schäl, Jörg	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Schleyer, Ruprecht	Umweltbundesamt (UBA)
Schmidt, Simone	Umweltbundesamt (UBA)
Schmitz, Susanne	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Schneider, Jörg	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Schoembs, Harald	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Schoer, Karl	Statistisches Bundesamt (StBA)
Schreiter, Renate	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Schröter-Kermani, Christa	Umweltbundesamt (UBA)

Schulz, Christine	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Schulz, Dietrich	Umweltbundesamt (UBA)
Schwaab, Katja	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Schwermer, Sylvia	Umweltbundesamt (UBA)
Smetana, Gerhard	Umweltbundesamt (UBA)
Sommerfeld. Günter	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
Dr. Spranger, Till	Umweltbundesamt (UBA)
Steinhauser, Dorothea	Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft
Dr. Stenschke, Reiner	Umweltbundesamt (UBA)
Strich, Sigrid	Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft
Strobel, Bernd	Umweltbundesamt (UBA)
Strogies, Michael	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Szewzyk, Regine	Umweltbundesamt (UBA)
Takramah, Gladys	Umweltbundesamt (UBA)
Trugenberger-Schnabel, Angela	Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)
Uhlisch, Helmut	Bundesamt für Naturschutz (BfN)
Dr. Uth, Hans-Joachim	Umweltbundesamt (UBA)
Vallenthin, Mark	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Vieth, Bärbel	Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (BgVV)
Vietzke, Peter	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Vogel, Ines	Umweltbundesamt (UBA)
Volkgenannt, Uwe	Umweltbundesamt (UBA)
Volz, Hans-Albert	Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft
Von Leitner, Jürgen	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Wagner, Gerhard	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Wallasch, Markus	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Wehrspaun, Michael	Umweltbundesamt (UBA)

Dr. Weiland-Wascher, Annett	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Wende, Heidemarie	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Werner, Horst	Umweltbundesamt (UBA)
Werner, Kathrin	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Westermann, Bärbel	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Wiandt, Suzanne	Umweltbundesamt (UBA)
Wiedemann, Reiner	Umweltbundesamt (UBA)
Wiemann, Astrid	Umweltbundesamt (UBA)
Winde, Christine	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Wöbbecke, Kerstin	Umweltbundesamt (UBA)
Dr. Wolter, Rüdiger	Umweltbundesamt (UBA)