Bundesrat **Drucksache 168/94**

394 Seiten

21.02.94

U - K

Unterrichtung
durch die Bundesregierung

Bericht der Bundesregierung "Globale Umweltveränderungen"
und
Gutachten des Wissenschaftlichen Beirates der Bundesregierung "Globale Umweltveränderungen"

Bernd Neumann, MdB
Parlamentarischer Staatssekretär
beim Bundesminister
für Forschung und Technologie

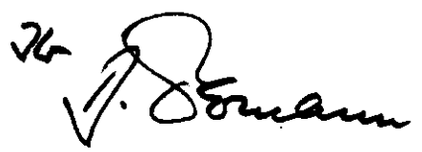
Bonn, den 15. Februar 1994

An den
Präsidenten des Bundesrates

Sehr geehrter Herr Präsident,

als Anlage übersende ich Ihnen den Bericht der Bundesregierung "Globale Umweltveränderungen", den das Bundeskabinett am 09. Februar 1994 zustimmend zur Kenntnis genommen hat, sowie das zugrundeliegende Gutachten des Wissenschaftlichen Beirates der Bundesregierung "Globale Umweltveränderungen".

Mit freundlichen Grüßen



Vertrieb: Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH, Postfach 1320, 53003 Bonn
Telefon: 0228/3820840, Telefax: 0228/3820844
ISSN 0720-2946

Drucksache 168/94

Bericht

der Bundesregierung

"Globale Umweltveränderungen"

Februar 1994

BMFT BMU

Bericht der Bundesregierung "Globale Umweltveränderungen"

I) Einleitung:

Die Bedingungen für Leben auf der Erde haben schon in der Vergangenheit durch natürliche und auch anthropogene Einflüsse auf die Umwelt wesentliche Änderungen erfahren. Schädigungen der Umwelt haben aber in den letzten 100 Jahren ein Ausmaß angenommen, das die Lebensbedingungen heute und für künftige Generationen weltweit gefährdet.

Durch menschliche Aktivität sind Prozesse in Gang gesetzt worden, deren globale Folgen unübersehbar sind. Eine wirkungsvolle globale Umweltpolitik braucht das Verständnis der Ursachen und der Entwicklung globaler Umweltveränderungen sowie ihrer Folgen. Als wesentliche Problemfelder sind das weitere Wachstum der Weltbevölkerung, der Verlust an land-/forstwirtschaftlich nutzbarem Boden, die Bodenerosion, der vom Menschen insbesondere in den Industrieländern verursachte zusätzliche Treibhauseffekt, die Ausdünnung der stratosphärischen Ozonschicht, die Verschmutzung und damit einhergehend die Verknappung der nutzbaren Wasserressourcen, das steigende Volumen der weltweiten, nicht geschlossenen Stoffströme, der steigende Energiebedarf sowie die Gefährdung von Wäldern und der biologischen Vielfalt zu nennen .

Die Bundesregierung betrachtet die zunehmend global auftretenden Umweltveränderungen als eine Herausforderung, die sich nicht allein durch nationale Maßnahmen bewältigen läßt. Vielmehr ist eine internationale Partnerschaft und ein abgestimmtes Vorgehen zur Umsetzung erforderlich. Auch wenn nicht alle Zusammenhänge der globalen Umweltgefährdung im einzelnen abschließend geklärt sind, gebietet es das Prinzip der Vorsorge, in unserem eigenen Interesse und im Interesse künftiger Generationen in wichtigen Fragen unverzüglich zu handeln.

Auf der Rio-Konferenz für "Umwelt und Entwicklung" im Juni 1992 ist mit dem Konsens über eine zukunftsfähige, nachhaltige Entwicklung als Leitvorstellung sowohl für Industrie- als auch für Entwicklungsländer ein politischer Durchbruch erzielt worden, der seine unmittelbaren Folgen in der Annahme der Agenda 21 sowie der Zeichnung der beiden Konventionen zum Schutz des Klimas und der biologischen Vielfalt während der Konferenz hatte. Diese führen zu rechtsverbindlichen internationalen Verpflichtungen.

Die Bundesregierung hat sich im November 1990 mit dem Stand der Forschung zu globalen Umweltveränderungen auseinandergesetzt und dabei eine regelmäßige Befassung mit diesem Thema beschlossen. Sie hat im April 1992 die "Forschungsrahmenkonzeption globale Umweltveränderungen" verabschiedet. Um die Verbindung zwischen Forschung und notwendigen Maßnahmen weiter zu verstärken und künftige Initiativen im internationalen Rahmen auf eine gesicherte wissenschaftliche Grundlage zu stellen sowie das nationale Handeln vor dem Hintergrund der globalen Umweltprobleme besser bewerten zu können, hat sie den unabhängigen "Wissenschaftlichen Beirat globale Umweltveränderungen" (WBGU) berufen. Der Beirat besteht aus zwölf Mitgliedern, die zur einen Hälfte naturwissenschaftlich-technische und zur anderen Hälfte sozial-/wirtschaftswissenschaftliche Disziplinen vertreten. Damit ist in besonderer Weise der Komplexität der Problemstellung Rechnung getragen und sichergestellt worden, daß schon in der Phase der Analyse der globalen Umweltveränderungen und ihrer Folgen ein breites, interdisziplinäres Gespräch geführt und auch die ökonomische und soziale Realisierbarkeit von Maßnahmen mit beachtet wird. Die periodische Berichterstattung des Beirats über globale Umweltveränderungen und ihre Folgen soll zur besseren Urteilsfindung bei allen politisch verantwortlichen Instanzen sowie zur Unterrichtung der Öffentlichkeit beitragen. Der Beirat legt der Bundesregierung regelmäßig ein Gutachten vor, in dem über die globalen Umweltveränderungen und ihre Folgen

eine aktualisierte Situationsbeschreibung gegeben, Art und Umfang möglicher Veränderungen dargestellt sowie eine Analyse der neuesten Forschungsergebnisse vorgenommen wird. Darüberhinaus sollen Hinweise zur Vermeidung von Fehlentwicklungen und deren Beseitigung gegeben werden.

Die Arbeit des Beirats wird in Abstimmung mit den betroffenen Ressorts im Rahmen einer interministeriellen Arbeitsgruppe (IMA) begleitet, deren Vorsitz gemeinsam von BMFT und BMU wahrgenommen wird.

Das erste Gutachten hat der Beirat am 7. Juni 1993 dem Bundeskanzler übergeben und inzwischen veröffentlicht; es ist diesem Bericht als Anlage beigefügt.

II) Allgemeine Würdigung des Gutachtens des Wissenschaftlichen Beirates

Zwar sind die Hauptursachen globaler Umweltveränderungen im wesentlichen bekannt, jedoch fehlen integrierende Darstellungen, in denen die Verknüpfungen und Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Teilbereichen von Natur und Gesellschaft schlüssig zusammengeführt werden. In einem ganzheitlichen Ansatz beschreibt der Beirat die Erde als vernetztes System, in dem natürliche und anthropogene Systemelemente durch Energie-, Stoff- und Informationsflüsse miteinander verbunden sind. Als wesentliche Systemelemente werden die Veränderungen der Natursphäre in den Bereichen Atmosphäre, Klima, Wasser, Boden und Biosphäre sowie im gesellschaftlichen Bereich das Bevölkerungswachstum, die Wirtschaft einschließlich Verkehr und das individuelle menschliche Verhalten dargestellt. Im Vordergrund stehen dabei die Übersicht über die auftretenden Wechselwirkungen, die Art der Verknüpfungen zwischen den Systemelementen einschließlich der Rückkopplungsmechanismen sowie die jeweiligen Verbindungen zu den globalen Umweltveränderungen und deren Dynamik.

In seinen **Handlungsempfehlungen** setzt sich der Beirat für eine rasche Verminderung der Treibhausgasemissionen, die konsequente Durchsetzung internationaler Vereinbarungen sowie die Förderung eines umweltentlastenden Strukturwandels der Wirtschaft ein. Als umweltpolitische Instrumente, die geeignet sind, einen umweltentlastenden Strukturwandel der Wirtschaft zu fördern, hebt der Beirat u.a. den Abbau von Subventionen, die den Ressourcenverbrauch fördern, die Verschärfung des Haftungsrechtes sowie intensive Anstrengungen bei der Umweltbildung hervor. In drei speziellen Empfehlungen spricht sich der Beirat für die Erhöhung der Mittel für Entwicklungshilfe, unter Anrechnung der von der Bundesrepublik Deutschland geleisteten Hilfe für die Länder Mittel- und Osteuropas, eine Fortführung der Diskussion um eine globale Zertifikatslösung zur Reduzierung der CO_2-Emissionen sowie Programme zur Sensibilisierung der Bürger für umweltverträgliches Handeln aus.

Insgesamt kommt der Beirat zu dem Ergebnis, daß das "Teilsystem Wirtschaft" ebenso wie die schnelle Zunahme der Bevölkerung in zentraler Weise für die globalen Umweltveränderungen verantwortlich ist und die bisherige Form des Wirtschaftens unter globalen Gesichtspunkten einen kritischen Punkt erreicht hat, der keine 'Entwicklungs-Nachhaltigkeit' mehr verspricht. Der Beirat stellt die Notwendigkeit eines entscheidenden Kurswechsels fest, damit die menschliche Gesellschaft ihr "natürliches Kapital" nicht zu Lasten nachfolgender Generationen aufzehrt. Dies gelte insbesondere angesichts der Entwicklung der Weltbevölkerung, vor allem in den Entwicklungsländern. Er weist auf die nach seiner Auffassung anstehende gewaltige Umstrukturierung des wirtschaftlichen Teilsystems hin, wobei möglicherweise das ökonomische System anpassungsfähiger sei als das gesellschaftliche und entsprechend die Hauptprobleme in den gesellschaftlichen Anpassungswiderständen gesehen werden müßten.

In seinen **Forschungsempfehlungen** weist der Beirat auf eine Vielzahl von Fragestellungen hin. Genannt werden u.a. die Belastbarkeit von Ökosystemen, die Sensibilität von Regionen und sozialen Gruppen bei Klimaänderungen, die Anreicherung von Schadstoffen im Boden und die Einbeziehung des ökonomischen Wertes der Böden bei der Entwicklung nachhaltiger Nutzungsformen, die noch ausstehende Operationalisierung des Begriffs "sustainable development" und die Entwicklung von kultur- und gruppenspezifischen Ansätzen zur Förderung umweltverträglichen Verhaltens.

Die Bundesregierung begrüßt das vorgelegte Gutachten und insbesondere seine neuartigen Ansätze zu einer systematischen Darstellung des komplexen Beziehungsgeflechtes zwischen verschiedenen Umweltbereichen und den menschlichen Aktivitäten. Hierzu wurden Ergebnisse unterschiedlicher Fachgebiete zusammengeführt. Die Bundesregierung sieht darin

einen wichtigen Schritt, zu einem disziplinübergreifenden Verständnis der global ablaufenden Umweltveränderungen und zu einer Einschätzung der Wirkungen menschlicher Aktivitäten zu gelangen, einschließlich einer Darstellung der Handlungsoptionen für gezielte Gegenmaßnahmen.

Demgegenüber tritt die Analyse von Detailursachen und die Tiefenschärfe der Darstellung innerhalb der einzelnen Systemelemente in den Hintergrund, auch weil der Beirat sich dafür auf eine Fülle intensiver Arbeiten anderer Gremien (z.B. Enquête-Kommissionen des Deutschen Bundestages) abstützen kann. In zukünftigen Gutachten wird es vor allem darauf ankommen, zu einer Gewichtung der Vielzahl der identifizierten Verknüpfungen zu gelangen.

Das Gutachten bestärkt die Bundesregierung in ihrem umweltpolitischen Kurs, auf verbindliche internationale Vereinbarungen zur Bewältigung globaler Umweltprobleme hinzuwirken und dabei, auch national, beispielhaft voranzugehen. Die Bundesregierung hat sich allen bisher vereinbarten Konventionen und Protokollen, z. B. zum Schutz der stratosphärischen Ozonschicht (Montreal-Protokoll), zum Schutz des Klimas und der biologischen Vielfalt, zum Schutz von Nord- und Ostsee (Pariser- bzw. Helsinki-Übereinkommen) sowie zur Reduzierung der weiträumig grenzüberschreitenden Emissionen von Luftschadstoffen im Rahmen der Genfer Luftreinhaltekonvention angeschlossen bzw. ist ihnen beigetreten und hat für deren zügige Umsetzung gesorgt. Angesichts der zu bewältigenden Probleme sind die bislang ergriffenen Maßnahmen und deren Umsetzung gewichtige Beiträge, denen weitere Schritte folgen müssen.

Im Hinblick auf die vom Beirat empfohlene Anhebung der öffentlichen Entwicklungshilfe auf 1 % des BSP verweist die Bundesregierung auf die vielfältigen Leistungen, welche die Bundesrepublik Deutschland bei der Bewältigung der Probleme in den Staaten Mittel- und Osteuropas sowie in den Staaten der NUS bereits übernommen hat und auch künftig zu erbringen bereit ist. Gerade damit wird ein Beitrag zur Beseitigung gravierender, teilweise global bedeutsamer Umweltprobleme geleistet, weil in diesen Ländern sehr viele Menschen auf der Grundlage industrialisierter Produktionsverfahren ohne den bei uns geläufigen Stand des Umweltschutzes leben und arbeiten. Die Bundesregierung ist entschlossen, trotz dieser großen Anstrengungen ihrer Verantwortung gegenüber den Entwicklungsländern auch weiterhin gerecht zu werden. Die Erhöhung der Entwicklungshilfe auf 1 % gehört jedoch nicht zu den Zielsetzungen der Bundesregierung.

Im Hinblick auf die vom Beirat angeregte Zertifikatslösung für die globale CO_2-Reduktion kommt es nach Ansicht der Bundesregierung darauf an, marktwirtschaftliche Instrumente wie z.B. Umwelt-Abgaben und -Zertifikate nicht isoliert zu betrachten, da ihre Wirkung entscheidend von den Rahmenbedingungen, vor allem von den übrigen umweltpolitischen Instrumenten und der Verfügbarkeit umweltentlastender Technologien abhängt.

Wichtige Hinweise gibt das Gutachten für die Umweltforschung. Der Beirat hat hier über eine knappe Darstellung des wissenschaftlichen Erkenntnisstandes hinaus die verstärkte Fortführung bestehender sowie die Aufnahme neuer Forschungsschwerpunkte angeregt. Diese Anregungen decken sich weitgehend mit den in den laufenden (z.B. Umweltforschungsprogramm) bzw. neu aufgelegten (z.B. Meeresforschungsprogramm) Forschungsprogrammen der Bundesregierung festgelegten Schwerpunktsetzungen. Bei den vom Beirat für seine weiteren Arbeiten angekündigten Schwerpunktsetzungen werden künftig noch stärker konkretisierte Hinweise erwartet, ebenso das Eingehen auf Themen wie menschliche Gesundheit oder Energieverbrauch. Bestätigt wird auch die Einschätzung der Bundesregierung, daß einer verstärkten Forschung "vor Ort" in den Entwicklungsländern, wie sie etwa im Rahmen der START-Initiative (System for Analysis, Research and Training) vorangetrieben wird, eine

hohe Bedeutung zukommt.

Die Darstellung der Verflechtungen von Anthroposphäre und Natursphäre macht deutlich, daß in der Forschungslandschaft der naturwissenschaftliche Hintergrund dieser Problematik besser verstanden wird als der sozioökonomische. Der Integration der sozioökonomischen Forschung in die Forschung zu globalen Umweltveränderungen mißt die Bundesregierung daher einen hohen Stellenwert bei, was sich auch in der interdisziplinären Besetzung des Beirats zeigt.

Die vom Beirat vorgelegten Argumente und Hinweise verdienen es, in einer konstruktiven Auseinandersetzung in Öffentlichkeit, Wirtschaft, Verbänden und insbesondere auch der Wissenschaft gewürdigt zu werden.

Insgesamt sieht die Bundesregierung in dem Gutachten einen wichtigen Beitrag, den oft noch tiefen Graben zwischen Umweltbewußtsein und Umwelthandeln zu überwinden.

III. Ausgewählte Handlungsbereiche

Entsprechend dem auch im vorliegenden Gutachten bestätigten Ergebnis, daß globale Umweltveränderungen nur in einer Gesamtsicht verstanden werden können, geht die Bundesregierung davon aus, daß auf diese Umweltveränderungen angemessen nur mit einer umfassenden, ressortübergreifend abgestimmten Politik der Vorsorge zum Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen und daraus abgeleiteten Maßnahmen reagiert werden kann. Die im Folgenden gegebene Darstellung über den Stand der von der Bundesregierung eingeleiteten bzw. angestrebten Maßnahmen sowohl in der Forschung als auch der politischen Umsetzung zeigt dies. An vielen Stellen wird deutlich gemacht, wo die verschiedenen Politikfelder ineinander greifen. Auf die Darstellung in anderen Berichten wie dem "Zweiten Bericht über Maßnahmen zum Schutz der Ozonschicht" (BT-Drs. 12/3846), dem Bericht der Bundesregierung über die Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung im Juni 1992 in Rio de Janeiro (BT-Drs. 12/3380), dem "Nationalbericht der Bundesregierung für die Bundesrepublik Deutschland im Vorgriff auf Artikel 12 des Rahmenübereinkommens der VN über Klimaänderungen" (BMU, Referat für Öffentlichkeitsarbeit, 18. August 1993) sowie dem dritten Tropenwaldbericht (BT-Drs. 12/5403) aus jüngster Zeit wird verwiesen.

III.1) Umweltpolitische Maßnahmen

III.1.1) Schutz des Klimas und der Erdatmosphäre

Der Schutz der Erdatmosphäre ist weltweit die größte umweltpolitische Herausforderung. Gelingt es nicht, die Emission von Treibhausgasen zu begrenzen bzw. erheblich zu verringern, wird sich die mittlere Temperatur auf der Erde nach neuesten Modellrechnungen im Laufe des nächsten Jahrhunderts in einer Bandbreite von 1,5 - 4,5^{0} C erhöhen. Es muß ferner mit Änderungen der Niederschlagsverteilung und der Verschiebung von Klima- und Vegetationszonen gerechnet werden, ebenso wie mit einer Zunahme von Degradationserscheinungen von Böden und einer Gefährdung landwirtschaftlicher Produktion in vielen Regionen der Erde. Durch den anthropogen verstärkten Treibhauseffekt, dessen Ausmaß noch weiterer Klärung bedarf, können die menschlichen Lebensgrundlagen mit weltweiten Auswirkungen auf Wirtschafts- und Lebensformen spürbar verändert werden

Die Bundesregierung setzt entsprechend dem Vorsorgeprinzip einen Schwerpunkt der Umwelt- und Energiepolitik in den 90er Jahren auf die Entwicklung und Umsetzung einer Klimaschutzstrategie. Wegen des überproportionalen Beitrages der Industrieländer einschl. der Bundesrepublik Deutschland zur Steigerung des Treibhauseffektes sollten sie auch einen überproportionalen Einsatz bei der Umsetzung der Klimarahmenkonvention leisten.

Beim Verzicht auf FCKW und Halone nimmt die Bundesrepublik Deutschland international eine Führungsrolle ein. Bereits Mitte 1994 wird die FCKW-Verwendung in Deutschland weitgehend eingestellt sein, d.h., die Frist zum 31.Dezember 1994 der im Jahr 1991 beschlossenen FCKW-Halon-Verordnung wird deutlich unterschritten werden. Eine Zwischenbilanz ihrer Politik zum Schutz der Ozonschicht hat die Bundesregierung in ihrem zweiten Bericht an den Deutschen Bundestag Ende November 1992 vorgelegt (BT-Drs. 12/3846).

Der stärkste Einzelfaktor des anthropogenen Treibhauseffektes sind die energiebedingten CO_2-Emissionen. Die Bundesregierung trägt dem Rechnung durch ihr umfangreiches CO_2-Minderungsprogramm. Angestrebt wird mit dem Programm eine Reduktion der CO_2-Emissionen bis zum Jahr 2005 um 25 bis 30%, bezogen auf das Emissionsvolumen von 1987.

Zur Verminderung von CO_2-Emissionen sind vielfältige Maßnahmen erforderlich, von denen alle Energieumwandlungs- und -verbrauchssektoren erfaßt werden. Die Nutzung der Kernenergie leistet einen wichtigen Beitrag zur Verminderung von CO_2-Emissionen und gehört daher zum Gesamtkonzept der Bundesregierung zur CO_2-Reduzierung. Durch die zielgerechte Umsetzung des nationalen CO_2-Minderungsprogramms und der Fortsetzung bei der Reduktion weiterer klimarelevanter Treibhausgase wird die Bundesregierung auch zukünftig ihren Beitrag zur Bekämpfung des globalen Treibhauseffektes leisten.

Angesichts der globalen Dimension des Problems wird die Bundesregierung auch weiterhin eine offensive Rolle beim Bemühen um eine weltweit abgestimmte Klimaschutzstrategie einnehmen. Dies gilt speziell für das Vorantreiben des Prozesses zur Fortentwicklung der Klimarahmenkonvention. Ziel der Bundesregierung ist eine Verschärfung und Konkretisierung der Konvention, die am 21. März 1994 90 Tage nach Erreichung des Quorums am 21. Dezember 1993 in Kraft tritt. Die Bundesregierung hat die 1. Vertragsstaatenkonferenz nach Inkrafttreten der Konvention für das Frühjahr 1995 (28. März -7. April 1995) nach Berlin eingeladen.

Die internationale Vorreiterrolle Deutschlands in der Klimaschutzpolitik wird auch daran erkennbar, daß die Bundesregierung bereits im Vorgriff auf ihre Berichtspflicht gemäß der Klimarahmenkonvention einen Nationalen Klimaschutzbericht zur Umsetzung verabschiedet und im August 1993 an den Zwischenstaatlichen Verhandlungsausschuß Klima (INC) in Genf übermittelt hat.

Dieser erste Bericht darf jedoch nur als Zwischenbilanz einer erfolgreichen Umweltpolitik betrachtet werden, die weitergeführt wird. Dazu bedarf es des weiter verstärkten Zusammenwirkens aller Beteiligten, d.h. von Bund, Ländern, Kommunen, Wirtschaft, Wissenschaft sowie der Verbraucher.

III.1.2) Verkehr

Ein Bereich, der in seiner Bedeutung für die Verstärkung des Treibhauseffektes vom Beirat hervorgehoben wird, ist der Verkehr. Emissionsvermindernde Maßnahmen vor allem im Bereich der Industrie, aber auch im Verkehr selbst, wurden in ihrer Wirkung durch das gleichzeitige Anwachsen des Verkehrsaufkommens z.T. wieder kompensiert. Diese ökologisch ungünstige Entwicklung ist weltweit zu beobachten. Es zeichnet sich bereits heute ab, daß in Europa das Verkehrsaufkommen und damit die Verkehrsprobleme infolge der Errichtung eines gemeinsamen Wirtschaftsraumes sowie der wirtschaftlichen Neuorientierung Mittel- und Osteuropas noch zunehmen werden.

Die Bundesregierung stimmt dem Beirat darin zu, daß es zur Begrenzung des Anstieges der CO_2-Emissionen aus diesem Verbrauchssektor und der Verminderung sonstiger Umweltbelastungen des Verkehrs eines integrierten Gesamtverkehrskonzeptes bedarf.

Die in dem Gutachten des Beirats enthaltene Überlegung, zur Reduktion der verkehrsbedingten CO_2-Emissionen international den durchschnittlichen Kraftstoff-Verbrauch auf

unter 6 Liter pro 100 km zu senken, stimmt mit der Zielvorstellung der Bundesregierung überein. Auch die vom Beirat vorgeschlagene Straßenbenutzungsgebühr wird von der Bundesregierung verfolgt. Für LKW ist dies bereits beschlossen. Große Bedeutung mißt die Bundesregierung darüber hinaus dem Einsatz moderner Systeme der Datenerfassung, der Kommunikations-, Leit- und Informationstechnik zur Verkehrsflußsteuerung im Netz zu.

Weitere Bestandteile der verkehrspolitischen Strategie der Bundesregierung sind unter anderem: Ausbau des Schienenverkehrs und der Infrastruktur des ÖPNV, systematische Vernetzung der einzelnen Verkehrsträger durch Ausbau des kombinierten Verkehrs, Errichtung von Güterverkehrszentren sowie der Ausbau von Binnenhäfen. Um das Ziel der Verkehrspolitik, eine umweltgerechte Sicherung der Mobilität von Personen und Gütern herbeizuführen, zu erreichen, verfolgt die Bundesregierung neben ordnungspolitischen Maßnahmen ergänzend preispolitische Maßnahmen. Insgesamt reichen strukturelle Veränderungen und technische Innovationen allein nicht aus, sondern diese müssen ergänzt werden durch individuelle Verhaltensänderungen, um letztendlich die verkehrsbedingten Umweltschäden in ökologisch verantwortbaren Grenzen zu halten.

Die größte Zunahme im Verkehrssektor wurde im Flugverkehr verzeichnet; eine Entwicklung, die sich in den folgenden Jahren fortsetzen wird. Eine vom BMV in Auftrag gegebene Studie kam zu dem Ergebnis, daß der Flugverkehr bei gleichbleibenden Rahmenbedingungen um maximal 150% bis zum Jahre 2010 ansteigen wird. Dadurch werden nicht nur die Emissionsmengen stark zunehmen. Es besteht der Verdacht, daß diese Emissionen durch die direkte Einbringung in die höhere Atmosphäre eine besonders schädigende Wirkung entfalten. Die Bundesregierung wird den Ursachen dieser Entwicklung deshalb besondere Beachtung zukommen lassen und erwartet dazu konkrete Aussagen im nächsten Gutachten des Beirates.

III.1.3) Wasser

Notwendige Voraussetzung für eine zukunftsfähige Entwicklung ist die möglichst schonende Nutzung der Umwelt- und Naturressourcen nach Maßgabe ökologischer Belastbarkeit und Regenerationsfähigkeit. Wasser ist eine weltweit stark geschädigte Umweltressource.

Weltweit wachsen die Probleme bei der Versorgung der Menschen mit Wasser und gleichzeitig steigt der Druck auf die vorhandenen knappen Wasserressourcen. Die Ursachen der globalen Wasserproblematik liegen einmal in einem rapide zunehmenden Bedarf als Folge des Bevölkerungswachstums, der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung und der Industrialisierung, zum anderen in der Verschmutzung dieser lebenswichtigen Ressource. Durch den Umfang der Wassernutzung werden Ökosysteme zerstört und ganze Staaten vom Verlust ihrer Lebensgrundlage bedroht. Dabei geht es sowohl um den Schutz des Süßwassers als auch um den Schutz der Ozeane und Meere, deren Gefährdung und Bedeutung erst in den letzten Jahren von der Öffentlichkeit durch medienwirksame Ereignisse wie das Robbensterben in der Nordsee, Öltankerunfälle oder Algenteppiche im Mittelmeer stärker wahrgenommen wurde.

Ebenso wie bei der Klimaschutzpolitik reichen nationale Initiativen allein nicht aus, weil Meere, Ozeane und die großen grenzüberschreitenden Flüsse von vielen Staaten genutzt und damit auch verschmutzt werden. Die Politik der Bundesregierung zum Schutz dieser Umweltressource und dem Erhalt ihrer ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Funktionsfähigkeit ist entsprechend zweigleisig angelegt: national mit dem Ziel der Verbrauchseinsparung und der Verringerung von belastendem Stoffeintrag und international ausgerichtet auf die Festlegung allgemein anerkannter Reinhalte- und Nutzungsgebote und

deren effektive Umsetzung.

Die Bundesregierung schließt sich der Auffassung des Beirats an, nach der die Zusammenarbeit der betroffenen Staaten zum Schutz grenzüberschreitender Gewässer in regionaler Abstimmung verstärkt und verbessert werden sollte.

III.1.4) Bodenschutz

Der Zustand der Böden gibt zu großer Sorge Anlaß. Laut Beiratsgutachten weisen rund 17 % der eisfreien Landoberfläche heute bereits starke Degradationserscheinungen auf, die durch den Menschen verursacht wurden. Bezogen auf die zum Ackerbau geeigneten Flächen ist der Anteil noch höher.

Als wichtigste Ursachen für deren Gefährdungen und Zerstörung bezeichnet der Beirat die direkte anthropogene Nutzung (Siedlung, Verkehr, Landwirtschaft), die Auswirkungen von Luftschadstoffen und saurem Regen, zukünftig auch die mögliche Veränderung der Struktur und Funktion von Lebensgemeinschaften in Böden aufgrund veränderter Klimabedingungen. Bereits heute nachweisbare Folgen solcher Einflüsse sind die Ausweitung und Beschleunigung von Degradationsprozessen und beschleunigte Vernichtung der bodenbewohnenden Arten. Die Degradationserscheinungen wirken wiederum auf das Klima zurück.

Auch die Bodenproblematik liegt z.T. darin begründet , daß die Folgen der Bodendegradationen über die Grenzen einzelner Länder hinaus spürbar sind, aber ihre lokalen Ursachen zumeist in Staaten haben, die bisher nicht in der Lage sind, wirksame Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Vor diesem Hintergrund wird derzeit eine internationale Konvention zur Bekämpfung der Desertifikation erarbeitet, die im nächsten Sommer beschlußreif sein soll. Die Bundesregierung beteiligt sich aktiv an den Verhandlungen. Zielsetzung der Konvention ist eine völkerrechtlich verbindliche Regelung notwendiger Maßnahmen zur Bekämpfung von Versteppung und Verwüstung. Ein Hauptinstrument muß dabei aus Sicht der Bundesregierung die Verankerung sektorübergreifender Strategien zum Schutz und zur nachhaltigen Bewirtschaftung von Bodenressourcen in den nationalen Politiken und die aktive Einbeziehung der Nutzergruppen in die Planung und Umsetzung entsprechender Aktionsprogramme sein.

Zu Recht beklagt der Beirat unzureichende Maßnahmen zum Erhalt der Böden. So existiert seit 1981 eine "Welt-Boden-Charta", die allerdings nicht völkerrechtlich verbindlich ist und deren Prinzipien noch nicht genügend Berücksichtigung finden. National hat die Bundesregierung mit dem geplanten Bundes-Bodenschutzgesetz, das sich gegenwärtig in der Ressortabstimmung befindet, ein Gesetzesvorhaben eingeleitet, das im Einklang mit den Empfehlungen des Beirats steht und die Inhalte der FAO-Bodencharta sowie die in der Agenda 21 festgehaltenen Prinzipien zum Schutz der natürlichen Umwelt berücksichtigt.

III.1.5) Wald

Was den Zustand der Wälder betrifft, so gilt das gleiche wie bei den zuvor behandelten Umweltressourcen Boden und Wasser. Wälder sind weltweit in ihrem Bestand gefährdet durch Raubbau, Schadstoffeintrag und künftig auch durch mögliche Klimaveränderungen. Veränderungen der Waldökosysteme ziehen aufgrund bestehender Wechselwirkungen

Veränderungen in anderen Ökosystemen nach sich. In seinem Gutachten analysiert der Beirat umfassend diese Rolle der Wälder als Lebensraum, als Ressource für Holz und Nahrungsmittel, als genetisches Potential, seine Bedeutung für das Klima, für Erholung und Tourismus sowie als Kulturgut. Die vom Menschen ausgehenden Bedrohungen sowie die Auswirkungen auf regionaler und globaler Ebene werden dargelegt.

Die Schadensursachen und damit auch die notwendigen Gegenmaßnahmen sind regional sehr unterschiedlich. Während für die Wälder Europas die Hauptgefahr von Luftschadstoffen ausgeht, werden Tropenwälder, aber auch einige boreale Wälder, im wesentlichen durch unangepaßte Wirtschaftsweise und Raubbau, also direkte menschliche Eingriffe, vernichtet. Mit der Verabschiedung der Walderklärung auf der Rio-Konferenz konnte erstmals ein politischer Konsens über Bewirtschaftung, Schutz und nachhaltige Entwicklung von Wäldern erreicht werden. Die Walderklärung ist zwar kein völkerrechtlich verbindliches Instrument, sie ist aber eine tragfähige Grundlage für weiterführende Verhandlungen und hält den Weg offen für eine spätere Waldkonvention. Entsprechende Verhandlungen finden u.a. im Rahmen der VN-Kommission für nachhaltige Entwicklung (CSD) statt.

Ergänzend dazu sind sofortige Maßnahmen im Rahmen bi- und multilateraler Zusammenarbeit von großer Bedeutung. Deutschland ist mit ca. 15% der international zur Verfügung gestellten Mittel der größte bilaterale Geber für Projekte der Tropenwalderhaltung. Das internationale Pilotprogramm zur Rettung der brasilianischen Regenwälder wird maßgeblich von deutscher Seite finanziert.

Ein Jahr nach Rio haben im Juni 1993 in Helsinki 37 europäische Staaten Resolutionen zum Schutz der europäischen Wälder unterzeichnet. Im Mittelpunkt der Resolutionen steht die Definition des Begriffs der "nachhaltigen Bewirtschaftung" und seine Umsetzung. Darüberhinaus haben sich die Unterzeichnerstaaten zur Erhaltung der biologischen Vielfalt der Wälder, zur verstärkten Forschung zu Wäldern im Zusammenhang mit möglichen Klimaänderungen sowie zur intensiven Zusammenarbeit mit den Staaten Ost- und Mitteleuropas verpflichtet.

Zusätzlich zu diesen Maßnahmen schlägt der Beirat die Einrichtung eines "Tropenwaldfonds" vor, aus dem Ausgleichszahlungen aller Regierungen für die Selbstbeschränkung bei der Nutzung ihrer Tropenwälder getätigt werden sollen. Angesichts der bereits zahlreichen bestehenden und bewährten bi- und multilateralen Finanzierungsmechanismen lehnt die Bundesregierung jedoch die Einrichtung eines weiteren Finanzierungsinstrumentes ab.

III.1.6) Biologische Vielfalt / Artenvielfalt

Der Beirat geht davon aus, daß in den nächsten 25 Jahren 1,5 Mio. Arten aussterben werden, wenn die aktuelle Entwicklung nicht aufgehalten wird. Ein bedeutender Faktor für das Artensterben ist die Zerschneidung von ursprünglich zusammenhängenden Lebensräumen sowohl in den Industrie- als auch in den Entwicklungsländern. Eine zusätzliche Bedrohung geht für viele Arten neben der Verinselung ihrer Lebensräume von Qualitätsveränderungen der Umweltmedien Luft, Wasser und Boden aus.

Voraussetzung für die Erhaltung der Artenvielfalt ist dementsprechend ein erfolgreicher Biotopschutz. Nur wenn die derzeit weltweit voranschreitende Zerstörung der Biotope aufgehalten werden kann, wird man auch den damit verbundenen Artenschwund stoppen können.

Es existieren bislang zahlreiche Übereinkommen zum Schutz der Artenvielfalt für einzelne Bereiche, darunter das "Washingtoner Artenschutzübereinkommen über den Handel mit gefährdeten Arten freilebender Tiere und Pflanzen", die "Bonner Konvention zur Erhaltung der wandernden wildlebenden Tierarten", die Berner Konvention und das Ramsar-Übereinkommen über Feuchtgebiete. Im Mai 1992 ist eine EG-Richtlinie zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen in Kraft getreten, die bis zum Juni 1994 von den Mitgliedstaaten umgesetzt werden muß.

Ein erster Schritt zur globalen Zusammenarbeit im Bereich der Artenschutzpolitik wurde auf der UNCED in Rio 1992 mit der Unterzeichnung eines Übereinkommens über die biologische Vielfalt gemacht. An dessen Zustandekommen hat die Bundesregierung maßgeblich mitgewirkt. Nach einem Beschluß der EU-Umweltminister sind die Ratifikationsurkunden der EU-Mitgliedstaaten und die EU-Genehmigungsurkunde Ende des Jahres 1993 bei den Vereinten Nationen hinterlegt worden.

Als vorrangige Verpflichtung des Übereinkommens betrachtet die Bundesregierung den Schutz der Arten in ihren Lebensräumen.

Diese Aufgabe verfolgt die Bundesregierung mit verschiedenen Instrumenten. Dazu zählen unter anderem die Ausweisung von geschützten Zonen als Natur-Nationalparks oder Biosphärenreservate und die Durchführung von Umweltverträglichkeitsprüfungen. Die Erhaltung der Artenvielfalt und andere Naturschutzziele finden zunehmend Eingang in die Programme der Entwicklungszusammenarbeit. Zur Unterstützung von Entwicklungsländern bei der Umsetzung der Konvention zum Schutz der biologischen Vielfalt ist ein Pilotprogramm über rd. 5 Mio DM eingerichtet worden. Damit werden Studien zur Erfassung des Umfangs und der Nutzungsmöglichkeiten der biologischen Vielfalt in bestimmten Regionen und insbesondere die Entwicklung nationaler Naturschutzstrategien und Schaffung eigener Kapazitäten zur Durchführung von Naturschutzvorhaben gefördert.

Die Bundesregierung stimmt dem Beirat zu, daß Aspekte des Artenschutzes verstärkt in allen Politikbereichen berücksichtigt werden müssen.

III.1.7) Entwicklungspolitische Zusammenarbeit

Als die wesentlichen Herausforderungen bei der Bewältigung der globalen Umweltprobleme betrachtet der Beirat das starke und regional unterschiedliche Wachstum der Bevölkerung. Selbst bei reduzierter Geburtenrate wird sich die Weltbevölkerung bis zum Jahre 2050 verdoppeln. Der Großteil der Zunahme wird auf jene Länder entfallen, die schon heute nicht mehr in der Lage sind, die existentiellen Grundbedürfnisse ihrer Bevölkerung zu erfüllen. Die Bundesregierung stimmt mit dem Beirat darin überein, daß der in seinen Folgen für die Umwelt bedrohliche "Teufelskreis" aus Armut, Ressourcenübernutzung, Umweltzerstörung, Migration, Urbanisation und wachsenden Bevölkerungszahlen nur durch weltweite Zusammenarbeit und Hilfe durchbrochen werden kann.

Die Bundesregierung hat daher einen Schwerpunkt ihrer Entwicklungspolitik auf die Bekämpfung der sozialen und wirtschaftlichen Ursachen für das hohe Bevölkerungswachstum gelegt. Dazu verfolgt die Bundesregierung eine umfassende entwicklungspolitische Strategie mit den Ansatzpunkten Verbesserung der Ausbildung, Verringerung der Armut, Gleichstellung der Frauen und Ausdehnung von politischen Beteiligungsmöglichkeiten und von Eigentumsrechten in den betroffenen Staaten. Durch ihre entwicklungspolitischen Aktivitäten versucht die Bundesregierung, den Aufbau von selbsthilfefähigen Gesellschaften mit tragfähigen politischen und gesellschaftlichen Grundlagen zu fördern. Ferner fördert die

Bundesregierung Programme der Familienplanung in Entwicklungsländern, weil der Mangel an entsprechenden Angeboten dort eine weitere wichtige Ursache für das zu hohe Bevölkerungswachstum ist. Darüber hinaus wird die Bundesregierung ihren Einfluß in internationalen Organisationen in diesem Verständnis nutzen.

Nach Angaben des Beirates entfallen heute 83 % des weltweiten Bevölkerungswachstums auf städtische Strukturen. Die Stadtbevölkerung wird im nächsten Jahrzehnt um jährlich 80 Mio Menschen zunehmen. Angesichts der Tatsache, daß die bestehenden Städte weiter stark anwachsen und neue Megastädte entstehen werden, wird sich Entwicklungspolitik zunehmend mit der Frage nach den Möglichkeiten einer umweltverträglichen Entwicklung von Städten auseinandersetzen müssen. Auch hier hat die Bundesregierung bereits maßgeblich dazu beigetragen, daß die Urbanisierungsthematik international stärkere Aufmerksamkeit findet. Sie tritt nachdrücklich dafür ein, die Entwicklung umweltverträglicher Siedlungsformen zu einem zentralen Beratungsthema für die 1996 in Istanbul geplante VN-Konferenz "Habitat II" zu machen.

Als Maß für die entwicklungspolitische Handlungsbereitschaft von Regierungen wird seit dem Beschluß der "Welthandels- und Entwicklungskonferenz I" (UNCTAD) 1964 in Genf für die offizielle Entwicklungshilfe ein Anteil von 0.7% am jeweiligen Bruttosozialprodukt herangezogen. Auf der UNCED in Rio hat die Bundesregierung dieses Ziel als für sie verbindlich bekräftigt, ohne jedoch ein Zeitziel zu nennen.

In eine Gesamtbilanz müßten dann auch die Leistungen der Bundesrepublik Deutschland im Rahmen der Zusammenarbeit mit den Staaten Mittel- und Osteuropas aufgenommen werden. Allein im Jahr 1992 betrug die Gesamthilfe der Bundesregierung für diese Staaten rd. 8 Mrd DM. Mit über 80 Mrd DM hat die Bundesrepublik Deutschland mehr als die Hälfte der Gesamthilfe aller Geber an die NUS geleistet. Fünf zentralasiatische Republiken der NUS sind bereits in die Liste der Entwicklungsländer aufgenommen worden. Auch wenn im Rahmen des Entwicklungshilfeausschusses (DAC) der OECD über eine Neudefinition der DAC-Liste der Entwicklungsländer beraten wird, wird angesichts der vergleichsweise hohen Pro-Kopf-Einkommen und sonstiger bei der Definition von Entwicklungsländern zugrundegelegter Kriterien eine generelle Einbeziehung osteuropäischer Staaten in diese Liste nicht erwogen.

Auch der deutsche Beitrag zur Global Environment Facility (GEF) der Vereinten Nationen ist ein Element der weltweiten deutschen Entwicklungs- und Umweltpolitik. Die GEF dient der Unterstützung der Entwicklungsländer bei der Umsetzung der in Rio unterzeichneten Konventionen zum globalen Umweltschutz. Die Bundesregierung wird sich an einer erheblichen Aufstockung der Finanzmittel der GEF beteiligen.

Vor dem dargelegten politischen Problemhintergrund ist die Empfehlung des Beirates an die Bundesregierung, die Entwicklungshilfe noch über die 0,7 % Zielmarke hinaus auf 1 % zu erhöhen, nachvollziehbar. Eine derartige Erhöhung gehört jedoch nicht zu den Zielsetzungen der Bundesregierung. Die Hilfsmöglichkeiten von Seiten der Industrieländer in den Entwicklungsländern sind begrenzt und lassen sich nicht einfach durch die Erhöhung finanzieller Ressourcen erweitern. Direkte Entwicklungshilfe kann immer nur Anstöße geben, durch Einzelprojekte Leitlinien und Vorbilder liefern und eigene Bemühungen in diesen Staaten stimulieren. Solche Einzelmaßnahmen müssen deshalb Ergänzungen sein zu Aktivitäten zur Verbesserung der internationalen Wirtschaftsbedingungen für diese Länder, um deren nationalen Handlungsspielraum für eigene Entwicklungsanstrengungen und Initiativen zu vergrößern. Aus diesem Grund hat sich die Bundesregierung im Rahmen der

GATT-Verhandlungen für einen Abbau von Handelshemmnissen für Entwicklungsländer eingesetzt, um deren Produkten einen besseren Zugang zu den Märkten der Industrieländer zu ermöglichen.

Auch die Schuldenerlasse der Bundesregierung aus Krediten der Entwicklungshilfe in Höhe von 9,4 Mrd DM seit 1978 sind Maßnahmen, um die Selbsthilfekräfte der Entwicklungsländer zu stärken und deren Möglichkeiten für eine möglichst umweltverträgliche, wirtschaftliche und soziale Entwicklung zu erweitern. Deshalb wird sich die Bundesregierung international für weitere Schuldenerleichterungen aktiv einsetzen und auch selbst zu weiteren Erlassen bereit sein.

III.1.8) Strukturwandel in der Wirtschaft

Wirtschaftliches Handeln ist weltweit auf die gleichen Ziele ausgerichtet: Wachstum und Wohlstandsmehrung. Ein erheblicher Teil dieses Wohlstands und des wirtschaftlichen Wachstums wird auf Kosten der Umwelt und der künftigen Generationen erzielt, weil Umweltressourcen ohne angemessene Gegenleistungen in Anspruch genommen werden. Immer deutlicher zeichnet sich zudem ab, daß bestimmte Minderungen der Umweltqualität negative wirtschaftliche Folgen haben. Ziel der Umweltpolitik ist es auch, die Grundlagen für dauerhaftes wirtschaftliches Handeln zu erhalten. Weiteres wirtschaftliches Wachstum wird unter Umweltgesichtspunkten nur vertretbar und erreichbar sein, wenn es zur Senkung des spezifischen Energie- bzw. Rohstoffverbrauchs kommt. Insgesamt ergibt sich aus Sicht der Bundesregierung die Notwendigkeit, die Bemühungen zur Effizienzerhöhung bei der Energienutzung konsequent fortzusetzen. In Bezug auf andere Rohstoffressourcen soll durch das Kreislaufwirtschaftsgesetz mit der Prioritätensetzung auf Abfallvermeidung und Wiederverwertung eine nachhaltige Art des Wirtschaftens unterstützt werden. Forschung und Technologie liefert dabei wesentliche Beiträge, insbesondere im Bereich der produktionsintegrierten Umwelttechnologien, wie im Folgenden (s.III.2) ausgeführt.

Die Bundesregierung betrachtet es deshalb als vorrangige Aufgabe, daß sich der bereits begonnene umweltentlastende Wandel der Wirtschaft weiter fortsetzt. Sie orientiert sich dabei an der Vorstellung einer zukunftsfähigen, nachhaltigen Entwicklung ("Sustainable Development"), zu der sie sich mit den anderen Unterzeichnerstaaten auf der UNCED-Konferenz in Rio verpflichtet hat. Sie sieht jedoch noch einen dringenden Operationalisierungsbedarf für dieses Konzept, das auf eine Harmonisierung gesellschaftlicher, wirtschaftlicher und ökologischer Entwicklung abzielt. Die Produktion von Gütern und Dienstleistungen sowie private Konsumgewohnheiten dürfen nicht zu einer Überforderung der Aufnahme- und Regenerationsfähigkeit der Umwelt führen; eine langfristig orientierte Politik muß Raum für den Ressourcenbedarf zukünftiger Generationen lassen und neuen globalen Herausforderungen, insbesondere dem Schutz der globalen Umwelt, Rechnung tragen.

Die Bundesregierung hält auch international Strukturänderungen in der Wirtschaft für erforderlich. Wie bereits ausführlich beschrieben, setzt sie sich für eine intensivere wirtschaftliche Zusammenarbeit zwischen den Industrie- und den Entwicklungsländern ein. Durch eine größere Öffnung von Märkten für die Produkte aus diesen Ländern könnte Armut reduziert werden, was wiederum Möglichkeiten zu umweltschonenden Wirtschaftsweisen eröffnen würde.

Die grundsätzliche Aufgabe der Umwelt- und Wirtschaftspolitik besteht darin, durch Preise und andere Signale existierende Umweltknappheiten und -überforderungen zu verdeutlichen. Durch Internalisierung externer Kosten muß die Inanspruchnahme von Umweltressourcen zu einer Kostenkomponente für Wirtschaft und Haushalte gemacht werden. Um die unternehmerische Kreativität und Dynamik zur Erreichung umwelt-

politischer Ziele zu mobilisieren und eine zunehmende Orientierung der Verbraucher auf umweltverträgliche Produkte und umweltfreundliches Verhalten zu bewirken, sieht die Bundesregierung daher auch zunehmend den Einsatz wirtschaftlich wirkender Instrumente vor, wie z.B. Steuern, Gebühren, Sonderabgaben oder Versicherungslösungen. Bei der Einführung von neuen Steuern ist Steuerquotenneutralität zu wahren, um zusätzliche Belastungen der Wirtschaft zu vermeiden. Dagegen müssen Subventionen stärker daraufhin überprüft werden, ob durch sie der Verbrauch von Ressourcen angeregt wird. Das Haftungsrecht bietet einen weiteren Ansatzpunkt zur Verringerung der Umweltbelastung. Um die größtmögliche Wirkung zu erzielen und Wettbewerbsverzerrungen zu vermeiden, wird sich die Bundesregierung auch hierbei um einen international harmonisierten Einsatz der umweltpolitischen Instrumente bemühen.

Der Beirat sieht in der Einführung handelbarer CO_2-Emissionsrechte, dies ist vereinfacht der Grundgedanke des von ihm empfohlenen Zertifikatansatzes, ein vielversprechendes Instrument und empfiehlt der Bundesregierung, dieses zu prüfen und sich gegebenenfalls international für dessen Einführung einzusetzen.

Nach Ansicht der Bundesregierung ist es wenig sinnvoll, bestimmte marktwirtschaftliche Instrumente wie z.B. Umwelt-Abgaben und -Zertifikate isoliert zu betrachten, da die Wirkung entscheidend von den Rahmenbedingungen, vor allem von den übrigen umweltpolitischen Instrumenten abhängt. Deshalb sollte das jeweilige Umweltproblem als Ausgangspunkt genommen und das gesamte umweltpolitische Instrumentarium auf seine Eignung zur Lösung des Problems untersucht werden. Als hierbei anzulegende Kriterien sind insbesondere die gesetzlichen Rahmenbedingungen, die politische Durchsetzbarkeit und gesellschaftliche Akzeptanz, die ökologische Wirksamkeit, die ökonomische Effizienz, die administrative Umsetzbarkeit und die damit verbundenen Kosten, die Transparenz des Steuersystems sowie allokative, strukturelle und distributive Auswirkungen zu nennen.

Das zentrale Hindernis für eine globale Zertifikat-Strategie beschreibt der Beirat selbst im Zusammenhang mit einer Abgabenlösung: Das Fehlen der notwendigen politischen Strukturen als Voraussetzung. Es existiert keine Weltregierung, die ein solches Modell koordinieren und kontrollieren könnte. Dieses Problem besteht sowohl für eine Abgaben- wie für eine Zertifikatslösung, wenn sie global durchgeführt werden sollen. Für die Lösung des CO_2-Problems gibt die Bundesregierung einer Steuer den Vorzug vor einer Zertifikatslösung, da eine CO_2-/Energiesteuer bereits EU-weit verhandelt wird und von daher leichter realisierbar ist. Darüber hinaus bestehen noch erhebliche Unsicherheiten hinsichtlich der Auswirkungen eines Zertifikatmodells auf das Verhältnis zwischen Industrie- und Entwicklungsländern. Dennoch bleibt zu überlegen, ob Zertifikate zur regionalen Verwendung geeignet sind.

III.1.9) Die Rolle des Menschen: Umweltbewußtsein und Umwelthandeln

Menschliches Handeln ist einerseits Ursache für die globalen Umweltveränderungen, andererseits aber auch erforderlich, um diesen Umweltveränderungen entgegenzusteuern. Das Gutachten des Beirates zeigt für eine Reihe von Umweltveränderungen die wesentlichen menschlichen Ursachen auf, angefangen von fehlender sinnlicher Wahrnehmbarkeit von Umweltveränderungen bis hin zur Schwierigkeit, in vernetzten Systemen zu denken.

Darunter leiden auch politische Maßnahmen zum Schutz und zur Erhaltung von Natur und Umwelt. Größere Erfolge auf diesem Gebiet verlangen, abgesehen von einem dem Natur- und Umweltschutz freundlichen politisch-gesellschaftlichen Klima, ein vielfach geschärftes Umweltbewußtsein der Bürger, eine Bereitschaft zu persönlicher Verantwortung und eine sachliche Kompetenz zu angemessenem Handeln.

Dies alles ist seit zwei Jahrzehnten Gegenstand von Umwelterziehung und Umweltbildung, ohne daß jedoch hierzu bisher eine genügende disziplinübergreifende theoretische Fundierung vorhanden ist. Dies gilt insbesondere für die Thematik der globalen Umweltveränderungen. Die Entwicklung einer umweltgerechten Einstellung (der Beirat fordert eine "neue Ethik") und eines entsprechenden Lebensstils bzw. neuer, entsprechend angepaßter Wohlstandsvorstellungen, wie sie in anderen internationalen Dokumenten angesprochen werden, ist im Wege des bisherigen Diskussions- und Konsensprozesses noch nicht erreicht. Dies erklärt die vielfältigen Schwierigkeiten in zahlreichen Bereichen des Bildungswesens (z. B. Forschungsvorhaben, Modellversuche, Lehrerfortbildung, neue Lehrpläne und Lehrmittel, neue Ausbildungsordnungen, neue Studiengänge sowie Veranstaltungen der Fort- und Weiterbildung). Die Bundesregierung begrüßt, daß das Gutachten diese Problematik vertieft aufgegriffen hat und, vor allem basierend auf der Umweltpsychologie, ebenso ausführlich wie konkret Wege zur Verbesserung der Situation aufzeigt.

Eine Verbesserung des Umweltbewußtseins allein reicht jedoch nicht aus. Bewußtseinsveränderungen gehen nicht automatisch einher mit Verhaltensänderungen. Die Menschheit wird ihre Lebensgrundlage langfristig nur erhalten können, wenn sie Lebens- und Wirtschaftsformen entwickelt, die auf Umweltbelange ausreichend Rücksicht nehmen. Die Bewältigung der akut zur Lösung anstehenden Probleme wird nur über eine Veränderung der individuellen Lebensweise erfolgen können. Damit Menschen aus eigenem Antrieb zur Bewältigung von Umweltproblemen beitragen, bedarf es zusätzlicher Anstöße und Anreize. Diese reichen von gesellschaftlicher Wertschätzung bis hin zu ökonomischen Vorteilen. Umweltpolitik muß deshalb neben Umweltbildung und -information weitere Instrumente zur Anwendung bringen, die erst in der Kombination eine erfolgversprechende umweltpolitische Strategie ergeben. Dazu zählen auch technologische Alternativen, Gesetze, Verordnungen, wirtschafts- und finanzpolitische Instrumente. Die Bundesregierung setzt bereits heute die o.g. Instrumente in allen Bereichen der Umweltpolitik ein.

Welche politischen Strategien im einzelnen verfolgt werden, ist in hohem Maße abhängig von den regional stark variierenden Ausgangsbedingungen. Allgemein gilt, daß mit steigenden sozialen und ökonomischen Schwierigkeiten der Stellenwert von Umweltbelangen sinkt. Solange Millionen Menschen in den Entwicklungsländern täglich um ihre Existenz kämpfen müssen, keine Ausbildung erhalten und politisch unfrei sind, wird deshalb nachhaltige Entwicklung sich dort nicht durchsetzen können. Die Bekämpfung der Armut, die die Bundesregierung als vorrangiges Ziel ihrer Entwicklungszusammenarbeit verfolgt, ist ein wichtiger Schritt aus dem Prozeß der Umweltzerstörung aus Überlebensgründen.

Dagegen haben viele Industriestaaten einen Punkt erreicht, an dem offensichtlich wird, daß die Erhöhung des Umweltbewußtseins und die Verbesserung des Umweltwissens allein nicht ausreicht. Die vom Beirat zitierten Umfrageauswertungen, nach denen das Ozonloch und die Klimaveränderungen übereinstimmend als dringlichste Umweltprobleme bezeichnet werden, aber zu wenig Relevanz für das eigene Handeln haben, weisen auf die zentrale Aufgabe für Umweltpolitik und Umweltbildung hin: die bestehende Kluft zwischen Problembewußtsein und Handlungsbereitschaft zu überbrücken. Hier sieht sich die Bundesregierung gefordert, durch gezielte Anreize umweltorientiertes Handeln zusätzlich zu motivieren. Ein zunächst unbequemeres, zeit- und kostenaufwendigeres Verhalten wird in der Regel nur dann übernommen,

wenn ausreichende Handlungsanreize bestehen, die unterschiedlichster Natur sein können. Neben finanziellen Anreizen durch Begünstigungen oder zusätzliche Belastungen kann auch das Angebot von technischen Alternativen oder die soziale Anerkennung motivierend wirken.

Trotz umfassenden - jedoch abstrakten - Wissens, fehlt häufig das Verständnis für die Zusammenhänge und Entwicklungsabläufe. Nicht zu unrecht werden die globalen Umweltveränderungen der Atmosphäre als schleichende Katastrophen bezeichnet, da sie häufig nicht unmittelbar anschaulich und erlebbar sind und die Verbindungen zu dem eigenen umweltbeeinträchtigenden Verhalten, das den Einzelnen gar nicht oder nur unwesentlich belastet, schwer erkennbar sind. Hier sieht die Bundesregierung noch einen großen Handlungsbedarf, in der Bildungsarbeit genauso wie strukturellen und bewußtseinsmäßigen Anpassungsbedarf in Wirtschaft, Politik und Verwaltung, um die Sensibilität für Änderungen und Gefahren zu erhöhen und angemessene Reaktionen zu ermöglichen.

Auch im Rahmen der Umweltabkommen mit mittel- und osteuropäischen Staaten wird die Umweltbildung und -ausbildung gefördert. Angesichts der schwerwiegenden ökonomischen und sozialen Schwierigkeiten haben Umweltbelange in diesen Ländern noch einen sehr geringen Stellenwert, wodurch umweltpolitische Maßnahmen behindert werden. Die Bundesregierung hilft diesen Ländern dabei, diese Situation zu verbessern. In diesem Zusammenhang unterstützt die Bundesregierung den 1987 verabschiedeten "Aktionsplan Umwelterziehung in den neunziger Jahren" der UNESCO und UNEP und betätigt sich aktiv an dessen Umsetzung.

III.2) Umweltforschung

In seinem ersten Gutachten hat sich der Beirat der Herausforderung gestellt, eine Gesamtsicht des globalen Wandels vorzustellen und daraus sowohl Forschungsdefizite als auch Handlungsempfehlungen abzuleiten. Er hat dabei insbesondere den Einfluß der Anthroposphäre auf den Wandel der Natursphäre und die wesentlichen Rückkopplungen herausgestellt. Indem der Mensch als Verursacher und Betroffener der Umweltveränderungen in den Mittelpunkt gestellt wird, werden folgerichtig seine Handlungen im sozio-ökonomischen Umfeld zum Forschungsthema gemacht.

Die Bundesregierung mißt der Umweltforschung und Umwelttechnikentwicklung eine zentrale Funktion für die Umweltpolitik bei. Verantwortliche Umweltpolitik ist Teil der Strukturpolitik für die Zukunft. Sie darf sich nicht darauf beschränken, die bereits existenten Umweltgefahren abzuwehren, sondern muß schon im Vorfeld gefährliche Belastungen der Umwelt vermeiden. Die Umweltpolitik kann diese Aufgaben nur effizient lösen, wenn Umweltforschung und -technikentwicklung die dafür notwendigen Wissensgrundlagen und Handlungsoptionen vor allem auch technologischer Art schaffen. Hierzu zählen vor allem:

- Das Auffinden der Ursachen von Umweltbelastungen und -schäden.
- Die umfassende Kenntnis von Stabilitätsbedingungen und Belastungsgrenzen, insbesondere für die vom Menschen genutzten Ökosysteme, wie Wälder, Äcker und Gewässer sowie das Abschätzen von Risiken.
- Eine verbesserte Abschätzung der Schädigung und Entwicklung der für das Leben auf der Erde wichtigen globalen Umweltsysteme wie Ozeane, Klima und Ozonschicht, und die wissenschaftliche Bearbeitung der möglichen Folgen dieser Veränderungen.
- Eine Bestandsaufnahme, ein verbessertes Verständnis, weitgehende Minderung durch vom Menschen verursachter stofflicher Belastungen sowie die

Schließung von derzeit noch kaum erfaßten und überwiegend offenen Stoffkreisläufen in der Produktion.

- Die Entwicklung von Technologien zur Vermeidung, Verminderung und Beseitigung von Umweltschäden.
- Umweltmanagementkonzepte, die eine langfristige, nachhaltige Nutzung der Natursysteme bei ihrem gleichzeitigen Erhalt gewährleisten.
- Die Abschätzung der Auswirkungen umweltpolitischer Maßnahmen.

Dabei kommt es darauf an, konkrete Problemlösungsbeiträge zu erarbeiten, wobei handlungsorientiertes Wissen und technologische Möglichkeiten im Sinne "integrierter" Lösungen zusammengefaßt werden. Dieses setzt voraus, daß Wissenschaft, Technik und Wirtschaft stärker als bisher gemeinsam an Lösungen arbeiten. Dazu wird es auch notwendig sein, daß sich die bisher naturwissenschaftlich-technisch orientierte Umweltforschung und -entwicklung mit wirtschafts- und sozialwissenschaftlichen Arbeitsfeldern verbindet. D. h., der verursachende handelnde Mensch muß mit seinem Verhalten, seinen Möglichkeiten und Restriktionen von vorn herein in integrierte Umweltbetrachtungen von Natur und menschlicher Zivilisation einbezogen werden.

Die Bundesregierung hat bereits bisher mit speziellen Förderprogrammen und -schwerpunkten zu einem besseren Verständnis des Systems Erde beigetragen. Diese fast ausschließlich in internationaler Kooperation durchgeführten Forschungsprojekte sind vielfach unverzichtbare Bestandteile der großen internationalen Forschungsprogramme wie "International Geosphere-Biosphere Programme" (IGBP), "World Climate Research Programme" (WCRP) und "Man and Biosphere" (MAB). Einen umfassenden Überblick über bestehende und geplante Aktivitäten der Bundesregierung vermittelt die "Forschungsrahmenkonzeption globale Umweltveränderungen" 1992-1995, (BMFT, Referat Öffentlichkeitsarbeit, 1992), die im April 1992 vom Bundeskabinett verabschiedet wurde.

Zusätzlich zur naturwissenschaftlichen Forschungsförderung wird die Bundesregierung in Zukunft Forschungen zu den wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Ursachen und Folgen globaler Umweltveränderungen fördern. Insbesondere für die Erarbeitung umsetzungsorientierter Vermeidungs- oder Anpassungsstrategien wird die Einbindung sozioökonomischer Forschung für notwendig gehalten.

Als vordringliche Forschungsbereiche sind hervorzuheben:

III.2.1) Atmosphärenforschung

Stratosphärenforschung zur Ozonproblematik ist ein Schwerpunktprogramm der Bundesregierung, die Empfehlungen des Beirats sind bereits weitgehend berücksichtigt. Die Bundesregierung hat 1988 ein Ozonforschungsprogramm (BMFT, Referat Öffentlichkeitsarbeit) aufgelegt, in dessen Rahmen das Ausmaß der Veränderungen der stratosphärischen Ozonschicht (insbesondere über der Nordhemisphäre) erfaßt wird, und Projekte zur Aufklärung der Ursachen sowie die Entwicklung eines Instrumentariums zur verläßlichen Prognose der künftigen Entwicklung gefördert werden.

Die im Rahmen des Ozonforschungsprogramms tätigen Feldmeßgruppen haben an der großen europäischen Meßkampagne im Winter 1991/92 mit Erfolg teilgenommen und planen, auch an künftigen internationalen Meßkampagnen teilzunehmen. Nachdem in der Anfangsphase des Ozonforschungsprogramms zunächst die für Messungen notwendige

Instrumentierung mit Vorrang entwickelt werden mußte, nimmt nunmehr die Bedeutung der diagnostischen und prognostischen Modellierung immer stärker zu.

Langjährige Meßreihen zum stratosphärischen Ozon werden im Rahmen des Ozonforschungsprogramms bereits diagnostiziert. Observatorien des Deutschen Wetterdienstes und Forschungsstationen des Alfred-Wegener-Institutes, einer Großforschungseinrichtung, sind in operative bzw. geplante internationale Meßnetze zur Erfassung der stratosphärischen Veränderungen eingebunden. Mit dem in Deutschland zur Zeit in Entwicklung befindlichen Atmosphärenforschungsflugzeug STRATO 2C wird voraussichtlich ab 1996 ein bemanntes, fliegendes Forschungslabor zur Verfügung stehen, das insbesondere im Hinblick auf die stratosphärische Messung in situ eine weltweit einmalige Meßplattform sein wird.

Bundesbehörden betreiben bzw. planen mit unterschiedlichen Zielschwerpunkten Meßnetze zur routinemäßigen, spektral hochauflösenden Erfassung der auf die Erde gelangenden solaren UV-B-Strahlung. Fördermaßnahmen der Bundesregierung zur Verbesserung der Meßinstrumentierung, zur Sicherung und Kontrolle der Datenqualität sowie zur Aufklärung und mathematischen Modellierung der für den Strahlungstransfer durch die Atmosphäre relevanten physikalisch-chemischen Prozesse sind eingeleitet. bzw. in einem fortgeschrittenen Planungsstadium.

In der Troposphäre sind vor allem die überregionale Ausbreitung von Spurenstoffen und deren Umwandlungsreaktionen während des Transports Gegenstand der Untersuchungen. Besonderes Augenmerk wird auf die Ablagerung von anthropogenen Spurenstoffen gelegt, um die Schadstoffkreisläufe zu bilanzieren und gesicherte Daten für die ökologische Forschung zu erhalten. Die Forschungsförderung erfolgt im Rahmen des EUREKA-Projekts EUROTRAC, in dem unter Beteiligung von 17 europäischen Staaten in 14 Subprojekten der Transport und die Umwandlung umweltrelevanter Spurenstoffe in der Troposphäre über Europa erforscht werden.

Im Rahmen des Verbundprogramms "Schadstoffe in der Luftfahrt" fördert die Bundesregierung Forschungsarbeiten zur Entstehung, Ausbreitung und Wirkung umweltschädlicher Emissionen des Luftverkehrs. Eine besondere Programmstruktur soll eine möglichst frühzeitige Nutzung der Forschungsresultate bei der industriellen Entwicklung schadstoffärmerer Triebwerke sicherstellen.

III.2.2) Klimaforschung

Forschungsempfehlungen des Beirats beziehen sich vor allem auf ein verbessertes Verständnis der globalen Stoffkreisläufe, in deren atmosphärischen Teil sich die Zunahme der Treibhausgase vollzieht. Diesen Empfehlungen trägt die Neuorientierung des Klimaforschungsprogramms Rechnung, das ab 1994 die drei Schwerpunkte Spurenstoffkreisläufe, Wasserkreislauf sowie Klimavariabilität und Signalanalyse umfassen wird.

Ziel der vom BMFT geförderten Klimaforschung sind belastbare Aussagen zur künftigen globalen Klimaentwicklung sowie insbesondere auch der damit verbundenen Klimavariationen im regionalen Bereich. Die Modellierung des Klimasystems stellt eine zentrale Säule der modernen Klimaforschung dar. Die Simulation von im Klimasystem ablaufenden, vielseitig gekoppelten Prozessen ermöglicht sowohl ein verbessertes Systemverständnis als auch eine Abschätzung möglicher zukünftiger klimatischer Entwicklungen. Ein Fortschritt in der

"Vorhersagegüte" des Klimaverlaufs hängt maßgeblich von der Weiterentwicklung der Modelle der Klimasubsysteme (Atmosphäre, Ozean, Biosphäre, Kryosphäre) sowie deren erfolgreicher Kopplung ab. Die am Deutschen Klimarechenzentrum (DKRZ) in Hamburg etablierte Modellhierarchie wird ständig vervollkommnet und erweitert.Ihre Leistungsfähigkeit konnte bei Rechnung eines 100-Jahre Szenarios zur CO_2-Verdopplung (+ 2,8°) international unter Beweis gestellt werden. Das Hochleistungsrechenzentrum ist eng mit den Aktivitäten der Klimarechenzentren in Bracknell und Toulouse sowie des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersage (ECMWF) verknüpft.

Im Rahmen der Global Change-Forschung werden Klimaforscher zusammen mit Wissenschaftlern anderer Disziplinen weitere neue Aufgaben auf dem Gebiet der Modellierung übernehmen.

Klimaforschung ist international angelegt. Den Rahmen bilden die großen internationalen Programme, insbesondere das Weltklimaforschungsprogramm (WCRP) und das Internationale Geosphären-Biosphären-Programm (IGBP), zu denen von deutscher Seite erhebliche Beiträge geleistet werden. Mit der Einrichtung des von WMO und UNEP gemeinsam geschaffenen Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) mit seinen drei Arbeitsgruppen "Scientific Assessment", "Impact assessment and response options" sowie "Cross-cutting, economic and other issues" wird ein international koordiniertes Vorgehen in der wissenschaftlichen Bestandsaufnahme und Bewertung zum globalen Problem der Klimaänderungen und deren Auswirkungen sowie bei der Erarbeitung von Forschungsstrategien und der Analyse von Handlungsoptionen verfolgt.

Wesentlich für die Klimaforschung sind die langfristig angelegten Beobachtungsprogramme im Rahmen des globalen Klimabeobachtungssystems (GCOS) und des globalen Ozeanbeobachtungssystems (GOOS), zu denen von deutscher Seite erheblich beigetragen wird.

III.2.3) Klimafolgenforschung

Der Beirat leitet aus seiner Analyse der jetzigen Situation und absehbarer Trends wichtige Forschungsempfehlungen für den Bereich Klimafolgenforschung ab. Eine wesentliche Forderung ist dabei, der Komplexität der Probleme durch Interdisziplinarität und dem globalen Charakter der Vorgänge durch internationale Kooperation gerecht zu werden. Mit dem Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK) ist 1992 eine Institution gegründet worden, die vor allem der zentralen Frage der Vernetzung der Natur- und Anthroposphäre durch Modellierung und Prozeßstudien nachgehen wird.

Die Beschreibung des aktuellen Wissensstandes über Klimaentwicklungen im Gutachten macht deutlich, daß die Prognosen möglicher Klimaänderungen noch keine konkreten Aussagen über besonders betroffene Regionen zulassen. Daher sind die ökologische und ökonomische Bedeutung eines Gebietes sowie seine Sensibilität gegenüber Klimaänderungen die einzig sinnvollen Kriterien, um die prioritäre Bearbeitung im Rahmen der Klimafolgenforschung zu begründen. Aus diesem Grunde hatte der Klimabeirat der Bundesregierung die Küstenregionen (Meeresspiegelanstieg gilt als gesichert), die Alpen, die Wirtschaftssektoren Land- und Forstwirtschaft sowie die Verfügbarkeit von Süßwasser als vordringliche Untersuchungsgebiete für Klimafolgenforschung eingestuft. Das BMFT bereitet zur Thematik Klimafolgenforschung ein Rahmenkonzept vor. Die Empfehlungen des Gutachtens sind zum großen Teil bereits

frühzeitig in die Planung eingeflossen. Zusätzlich zur naturwissenschaftlichen Forschungsförderung wird die Bundesregierung in Zukunft vermehrt Forschungen zu sozioökonomischen Ursachen und Folgen globaler Umweltveränderungen fördern. Am Beispiel der deutschen Küstenlandschaft (hier können sich die Faktoren Klimaänderung, Meeresspiegelanstieg und Häufigkeit von Extremereignissen gegenseitig verstärken) wird derzeit ein interdisziplinäres Bund-Länder-Projekt begonnen, das insbesondere auch die sozialen Dimensionen der Umweltveränderungen mitberücksichtigt und für zukünftige Forschung zu - auch globalen - Umweltveränderungen Pilotcharakter hat.

Darüber hinaus sollen auf weiteren sensiblen Bereichen Forschungen zu möglichen Folgen von Klimaänderungen durchgeführt werden.

Der vom Beirat angemerkte Forschungbedarf bezüglich der Verfügbarkeit von Wasser bei wachsender Bevölkerung und regional unterschiedlichen anthropogenen Klimaänderungen wird z. Zt. im Rahmen einer Vorstudie analysiert, die Förderung entsprechender Forschungsvorhaben ist beabsichtigt.

III.2.4) Ökosystemforschung

Im Bereich der Ökosystemforschung empfiehlt der Beirat die Erforschung langfristiger Wirkungen der veränderten globalen Stickstoff- und Kohlenstoffkreisläufe auf naturnahe Ökosysteme und die landwirtschaftliche Produktion, die Schaffung und Erhaltung ökologisch stabiler Kulturlandschaften sowie regionsspezifische Strategien zur Erreichung der in der Klimakonvention und der Konvention zum Schutz der biologischen Vielfalt festgelegten Ziele. Einige Teilaspekte dieser Empfehlungen gehören zum laufenden Forschungsumfang der bereits etablierten Ökosystemforschungszentren. Die nationalen Standorte der vom BMFT im Sinne einer Anschubfinanzierung des Bundes geförderten terrestrischen Ökosystemforschung sind derzeit:

- das Bayreuther Institut für terrestrische Ökosystemforschung (BITÖK) für naturnahe Ökosysteme,
- das Forschungszentrum Waldökosysteme in Göttingen,
- der Forschungsverbund Agrarökosysteme in München (FAM), ein Verbund der TU München und dem GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit,
- das Projektzentrum Ökosystemforschung in Kiel im Bereich der "Bornhöveder Seenkette", ein hydrologisches Einzugsgebiet mit Land- und Forstwirtschaft,
- das Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle (UFZ) für hochbelastete Ballungsräume,
- im Allgäu, am Tegernsee und im Nationalpark Berchtesgaden Verbundprojekte zum hochsensiblen Ökosystem Alpen.

Auch die Forschungsempfehlungen zum Boden werden im Bereich der Ökosystemforschung bereits weitgehend umgesetzt. Bei allen Fördermaßnahmen zur Bodenforschung ist es ein besonderes Anliegen, die Ergebnisse so aufzubereiten, daß sie auch in Umweltinformationssysteme zur direkten Nutzung eingebracht werden können. Die Forschungsschwerpunkte Erosionsprozesse, Bodenverdichtungen und Belastungen durch Nitrat sind weitestgehend abgeschlossen. Fortgesetzt werden Untersuchungen zur Boden- und Grundwasserbelastung durch organische Substanzen, z.B. durch überhöhten Pflanzenschutzmitteleinsatz und diffuse Einträge aus Verkehr und industriellen Prozessen. Im Mittelpunkt der BMFT-Projektfördermaßnahmen steht nach wie vor die

Erfassung der Bedingungen, Strukturen und Vorgänge, die den Boden als integralen Bestandteil von terrestrischen Ökosystemen mit ihren Energie- und Stoffkreisläufen befähigen, sich auch in Belastungssituationen selbst zu regenerieren und leistungsfähig zu erhalten.

Einen wichtigen Beitrag zur Ökosystemforschung liefert auch die Umweltprobenbank des Bundes. Darin werden ökologisch repräsentative Umwelt- und Humanproben tiefgekühlt eingelagert, um für retrospektive Untersuchungen über Entwicklung und Ausmaß anthropogener Einflüsse und der Verbreitung von Chemikalien zur Verfügung zu stehen.

Über die vom Beirat gegebenen - eher nutzungsbezogenen - Empfehlungen zur Sicherung der Süßwasserressourcen hinaus werden auch im Rahmen der Ökosystemforschung hierzu erhebliche Beiträge erbracht. Ziel der Förderung ökosystemorientierter Gewässerforschung ist es, wissenschaftliche Voraussetzungen zu schaffen, um

- die bestehenden Bewertungsverfahren zur Gewässerqualität weiterzuentwickeln,
- die ökologischen Auswirkungen von Nutzungen am Gewässer sowie von Maßnahmen zur Verminderung der Gewässerbelastung zu bewerten und
- Sanierungsstrategien, Gestaltungskonzepte und naturnahe Ausbaumaßnahmen einzuleiten und Handlungsempfehlungen beispielhaft zu erarbeiten.

Im Mittelpunkt der Fördermaßnahmen stehen derzeit kleine Fließgewässer, die Ergebnisse sollen auch auf die Stromlandschaft Elbe übertragen werden ("Elbe 2000").

Die insbesondere auf dem Gebiet der NUS durch großräumige Umverteilung von Wasserressourcen bewirkten Umweltveränderungen haben über mögliche Klimabeeinflussung, Konfliktpotential und Migrationen eine besondere Brisanz. Im Rahmen der ökologischen Forschung werden bereits Strategien einer besser angepaßten Landnutzung untersucht.

Wichtige Empfehlungen des Beirats beziehen sich auf Handlungsweisen zum Erhalt der Wälder in den Tropen, den gemäßigten und den borealen Zonen. Zielsetzung und Themenschwerpunkt der forschungs- und entwicklungspolitischen Maßnahmen zu Fragestellungen der Tropenwalderhaltung und einer ökologisch angepaßten Waldressourcenbewirtschaftung ergänzen sich. Schwerpunkte beider Programme liegen insbesondere im Amazonasgebiet und bei den tropischen Küstenwäldern. Im Förderschwerpunkt SHIFT "Untersuchungen anthropogener Einflüsse auf Waldsysteme und Überschwemmungsgebiete in den Tropen" werden dabei drei thematische Schwerpunkte bearbeitet:

- Untersuchungen zur Ökologie und Nutzung tropischer Wälder,
- Untersuchungen anthropogener Einflüsse auf tropische Binnengewässer,
- Wechselwirkung zwischen sozioökonomischer Bedingungen und der Umwelt in tropischen Ökosystemen.

Für die Wälder in den gemäßigten Klimazonen hat die Bundesregierung in den letzten 10 Jahren umfassende Forschungsarbeiten zur Aufklärung der Ursachen von neuartigen Waldschäden gefördert. Die Ergebnisse sind in einer Bilanz "10 Jahre Waldschadensforschung" (BMFT, Referat Öffentlichkeitsarbeit) Ende 1992 zusammenfassend dargestellt worden. Die Forschungsförderung des Bundes konzentriert sich heute auf die Waldökosystemforschung an ausgewählten Standorten und deckt den vom Beirat aufgezeigten Forschungsbedarf weitestgehend ab.

Forschungsempfehlungen des Beirats zum Problem der abnehmenden Artenvielfalt beziehen sich wesentlich auf die Beziehung zwischen der Komplexität von Ökosystemen und ihrer Widerstandsfähigkeit gegenüber anthropogenen und klimatischen Einflüssen. Aufgaben wie die Ermittlung kritischer Biotopgrößen, geeignete Biotopverbundmaßnahmen sowie geeignete Landnutzung werden innerhalb der ökologischen Forschung durchgeführt, die ergebnisorientiert angelegt ist und die Naturschutzplanung verbessern soll. Maßnahmen

zum Biotopschutz sind dabei Voraussetzung für den Erhalt der Artenvielfalt. Die Integration des Naturschutzes in die Landnutzung ist vorrangig Ziel der Forschung. Die Forschungsergebnisse sollen dazu beitragen, konkrete Maßnahmen für politisches Handeln vorzubereiten. Neben dem BMFT beteiligen sich das BMU und das BML im Rahmen ihrer Ressortforschung an diesem Schwerpunkt.

III.2.5) Meeresforschung

Umfangreiche naturwissenschaftlich-technische Forschungsmaßnahmen empfiehlt der Beirat für den Bereich Meeresforschung, die sich insbesondere auf die Rolle der Ozeane im Klimageschehen der Erde beziehen. Die Überwachung und die Erstellung von Zeitreihen im Rahmen des Global Ocean Observing System (GOOS) wird dabei als eine zentrale Aufgabe angesehen. Darüber hinaus wird auch das Meer als Lebensraum und Nahrungsressource angesprochen.

Die Bundesregierung hat im September 1993 ein neues Meeresforschungsprogramm (BMFT, Referat Öffentlichkeitsarbeit) verabschiedet. Vor dem Hintergrund der globalen Probleme, die sich in einer durch natürliche und menschliche Aktivitäten hervorgerufenen Änderung des Klimas und in steigenden Umweltbelastungen niederschlagen, konzentrieren sich die wissenschaftlichen Zielsetzungen des neuen Meeresforschungsprogramms auf Fragestellungen, die die Rolle der Ozeane im Klimageschehen, als belastete Ökosysteme und als Rohstoffquellen verdeutlichen sollen.

Wesentliche Programmziele sind:

1. Die Erarbeitung der Grundlagen für ein besseres Verständnis der Rolle des Ozeans als Klimafaktor sowie Klärung der Rückwirkungen von Klimaveränderungen auf den Ozean als Basis für künftige Präventiv- und Schutzmaßnahmen.

2. Die Identifizierung von anthropogenen Belastungen der Randmeere, der Küstenregionen, insbesondere des norddeutschen Wattenmeeres und der Boddenlandschaften, und des offenen Ozeans sowie Erforschung ihrer Dynamik und Auswirkungen. Auf dieser Grundlage sollen Verfahren und Konzepte zur Beschreibung und Bewertung des Gewässerzustands entwickelt werden, Vorhersagen von Änderungen ermöglicht und gegebenenfalls Abhilfemaßnahmen eingeleitet werden.

3. Die Entwicklung von Methoden und Verfahren zur klima- und umweltbezogenen Erforschung und Überwachung des Meeres und zur schonenden Nutzung aller Ressourcen.

Im Gegensatz zu den Vorläuferprogrammen stellt das vorliegende Programm somit den problem- bzw. anwendungsbezogenen Aspekt stärker in den Vordergrund. Die Bundesregierung sieht den Grundlagenforschungsbedarf im wesentlichen durch die Grundfinanzierung der von ihr getragenen bzw. mitgetragenen Institutionen (Bundesanstalten, Großforschungseinrichtungen, "Blaue-Liste"-Institute) abgedeckt. Nur im Einzelfall werden zusätzliche Projektmittel zur Verfügung gestellt werden. Insbesondere gilt dies für die Beteiligung deutscher Wissenschaftler an den international vereinbarten Projekten.

III.2.6) Umwelttechnik

Die Entwicklung von Technologien für integrierte Lösungen wird im Hinblick auf eine umweltverträgliche Art des Wirtschaftens vom Beirat mehrfach hervorgehoben. Die Bundesregierung verfolgt mit ihrer Förderung innovativer Umweltschutztechnologien einerseits das Ziel, Methoden und Verfahren zur Vermeidung künftiger Umweltbelastungen und zur Sanierung vorhandener Umweltschäden zu entwickeln, andererseits einen verläßlichen Stand der Technik zu erreichen, der dem Gesetzgeber als Grundlage für den Erlaß wirksamer Umweltschutzgesetze dienen kann. In einem dynamischen Prozeß soll dabei der Stand der Technik auf ein Niveau angehoben werden, das es erlaubt, die Anforderungen der Umweltpolitik den ökologischen Zielwerten immer mehr anzunähern. Schwerpunkte der Umwelttechnikförderung für den Bereich der globalen Umweltveränderungen sind dabei:

- Emissionsarme und ressourcenschonende Technologien und Produkte,
- Luftreinhaltung,
- Wasserforschung und Technologie,
- Abfallverwertung und -entsorgung,
- Altlastensanierung,
- Sicherheitsforschung.

Basierend auf den Ergebnissen der Ursachen- und Wirkungsforschung dient die prototypische Entwicklung von Umweltschutztechnologien der Vermeidung, Minimierung, Eindämmung und Reparatur von Umweltschäden. Gegenüber der früheren Strategie der sektoralen Lösung von Einzelproblemen durch vorwiegend nachgeschaltete Reinigungsmaßnahmen treten medienübergreifende, ganzheitliche Ansätze, die die Steuerung und Regelung von Stoffströmen und die Schließung von Stoffkreisläufen beinhalten, immer stärker in den Vordergrund.

Die Verbesserung der Umweltverhältnisse ist auch Ziel der Forschungsförderung im Energiebereich. Schwerpunkte bilden hierbei Technologien, die dazu beitragen, den CO_2-Ausstoß zu vermindern. Hierzu zählen u.a.

- Technologien zum rationellen Umgang mit Energie
- Wirkungsgradverbesserungen von Kraftwerken auf Basis fossiler Energieträger
- Entwicklung erneuerbarer Energietechniken

Auch die Förderung von Technologien für bodengebundene Transport- und Verkehrssysteme verfolgt u.a. die gleiche Zielsetzung. Dabei geht es im wesentlichen um:

- die Verlagerung von Verkehr von der Straße und aus der Luft auf die umweltfreundlichere Schiene
- Technologien zur Energieeinsparung und damit zur Verringerung der CO_2-Emissionen
- neuartige, emissionsfreie Antriebe, wie den Elektroantrieb in Kraftfahrzeugen.

IV) Künftige Aktivitäten der Bundesregierung und Erwartungen an den Beirat

Die Bundesregierung ist sich der auch vom Beirat in seinem Gutachten dargelegten Brisanz der Umwelt- und Entwicklungsprobleme bewußt und stellt sich den aus den globalen Umweltveränderungen erwachsenden Herausforderungen und Aufgaben.

Auch in Zukunft wird die Bundesregierung auf nationaler wie internationaler Ebene die bisher verfolgten Bemühungen fortsetzen und durch zusätzliche Maßnahmen verstärken, um durch zügiges Handeln zu einer zukunftsfähigen, nachhaltigen Entwicklung beizutragen. So hat sie bereits auf der UNCED in Rio zur 1. Vertragsstaatenkonferenz der Klimakonvention zum Frühjahr 1995 nach Deutschland eingeladen, auf der die Fortentwicklung und Ver-

schärfung des Vertragswerks zur internationalen Klimapolitik verhandelt werden soll. Die 48. Generalversammlung der VN hat am 21. Dezember 1993 die Einladung angenommen.

Der Einfluß und die Glaubwürdigkeit der Bundesrepublik Deutschland bei internationalen Verhandlungen werden erheblich von den nationalen Leistungen abhängen. Die Bundesregierung wird in den Grenzen der gegenwärtigen wirtschaftlichen Möglichkeiten ihre vielfach anerkannte internationale Vorreiterrolle fortsetzen.

Mit der Walderklärung wurde in Rio bereits eine gute Grundlage für wirkungsvolle Maßnahmen zu Bewirtschaftung, Schutz und nachhaltiger Entwicklung der Wälder weltweit geschaffen. Vordringliche Aufgabe ist es nun, die Zusammenarbeit und den Dialog mit anderen Staaten über weiterführende, international abgestimmte Vereinbarungen mit dem Ziel einer internationalen Waldkonvention zu fördern.

Die Bundesregierung hat, entsprechend ihrer Zusage bei der UNCED 1992, die Ratifizierungsurkunde zum Übereinkommen über biologische Vielfalt am 21. Dezember 1993 bei den VN hinterlegt. Das Übereinkommen ist am 29. Dezember 1993 in Kraft getreten. Die in der Konvention geforderte nationale Strategie zum Schutz der biologischen Vielfalt wird zur Zeit durch die Bundesregierung erarbeitet. Für einen "prompt start" der Klimakonvention und der Konvention über biologische Vielfalt sind zusätzlich 10 Mio. DM im Rahmen der Entwicklungshilfe bereitgestellt worden; diese Mittel wurden für die Konvention über die biologische Vielfalt um einen Unterstützungsfonds von 5 Mio. DM ergänzt, mit dem vor allem nationale Strategien und Programme zur Umsetzung der Konvention in Entwicklungsländern gefördert werden sollen.

Auch die internationalen Aktivitäten bei der Vorbereitung einer Wüstenkonvention, die Mitte 1994 zeichnungsfertig sein soll, werden von der Bundesregierung aktiv unterstützt.

Für ihre künftigen Aktivitäten erwartet die Bundesregierung vom Beirat Anregungen für die nähere Definition von Kriterien für das Konzept des "sustainable development" sowie für umweltpolitische Instrumente und ihre sinnvolle Kombination hierfür. Angesichts der Vielzahl unterschiedlicher Einflußgrößen auf das umweltrelevante Verhalten bedarf es einer entsprechend umfassenden Strategie, mit der auf das umweltrelevante Verhalten positiv eingewirkt werden kann. Der Weiterbearbeitung dieser Thematik durch den Beirat, insbesondere auch der Erweiterung des individualpsychologischen Ansatzes auf eine Betrachtung der Rolle gesellschaftlicher Institutionen und der Bedeutung von Wissenschaft und Technik, sieht die Bundesregierung mit Interesse entgegen.

Mit Aufmerksamkeit hat die Bundesregierung daher zur Kenntnis genommen, daß der Beirat sich in seinem nächsten Gutachten verstärkt den Problemen der "nachhaltigen Entwicklung" mit Schwerpunkt zu Bodenproblemen widmen will.

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung
Globale Umweltveränderungen

Welt im Wandel:

Grundstruktur globaler Mensch-Umwelt-Beziehungen

- Jahresgutachten 1993 -

Herausgabe:

Geschäftsstelle WBGU
am Alfred-Wegener-Institut
für Polar- und Meeresforschung

Columbusstraße
Postfach 12 01 61

D-2850 Bremerhaven
(ab 1.7.93: D-27515 Bremerhaven)

Telefon 0471-4831-349
Telefax 0471-4831-218

7. Juni 1993

Inhaltsverzeichnis im Überblick

A	**Kurzfassung**		33
B	**Einführung**		42
C	**Globaler Wandel: Annäherung an den Untersuchungsgegenstand**		46
	1	Definitionen	46
	2	Grundstruktur des Zusammenwirkens von Natur- und Anthroposphäre	49
D	**Globaler Wandel: Elemente einer Systemanalyse**		54
	1	Veränderungen der Natursphäre	54
	1.1	Atmosphäre	54
	1.1.1	Zunahme der langlebigen Treibhausgase	56
	1.1.2	Änderungen von Ozon und Temperatur in der Stratosphäre	63
	1.1.3	Veränderte Chemie der Troposphäre	73
	1.2	Klimaänderungen	82
	1.3	Wasser	96
	1.3.1	Veränderungen des Ozeans und der Kryosphäre	96
	1.3.2	Qualitative und quantitative Veränderungen im Bereich Süßwasser	108
	1.4	Lithosphäre/Pedosphäre	137
	1.5	Biosphäre	172
	1.5.1	Veränderungen der Biosphäre am Beispiel Wald	175
	1.5.2	Abnahme der biologischen Vielfalt	191
	2	Wandel der Anthroposphäre - Einführung	209
	2.1	Bevölkerungswachstum, -migration und Urbanisierung	216
	2.2	Veränderungen in der Wirtschaft	243
	2.3	Zunahme des Verkehrs	291
	2.4	Der Mensch als Verursacher und Betroffener globaler Umwelt-veränderungen: Psychosoziale Einflußfaktoren	306
E	**Globaler Wandel: Versuch einer Zusammenschau**		342
F	**Empfehlungen**		351
G	**Literaturangaben**		360

Verzeichnis der Abbildungen 388

Verzeichnis der Tabellen 389

Der Beirat 390

Der Errichtungserlaß 391

Inhaltsverzeichnis im Detail

A	**Kurzfassung**		33
B	**Einführung**		42
		Die globale Dimension der Umweltkrise	42
		Sind die natürlichen Lebensgrundlagen der Menschheit bedroht ?	42
		Die Verantwortung des Menschen	43
		Die Notwendigkeit zum globalen Handeln	43
		Die Aufgabe des Beirates	44
C	**Globaler Wandel: Annäherung an den Untersuchungsgegenstand**		46
	1	Definitionen	46
		Globale Umweltveränderungen	46
		Nachhaltigkeit	47
	2	Grundstruktur des Zusammenwirkens von Natur- und Anthroposphäre	49
D	**Globaler Wandel: Elemente einer Systemanalyse**		54
	1	Veränderungen der Natursphäre	54
	1.1	Atmosphäre	54
	1.1.1	Zunahme der langlebigen Treibhausgase	56
		Kurzbeschreibung	56
		Ursachen	57
		Auswirkungen	59
		Verknüpfung zum globalen Wandel	60
		Bewertung	60
		Gewichtung	61
		Forschungsbedarf	62
	1.1.2	Änderungen von Ozon und Temperatur in der Stratosphäre	63
		Kurzbeschreibung	63
		Ursachen	63
		Auswirkungen	67
		Natursphäre	67
		Anthroposphäre	67
		Zeitskala	68
		Verknüpfung zum globalen Wandel	68
		Handlungsbedarf	69
		Forschungsbedarf	70
	1.1.3	Veränderte Chemie der Troposphäre	73
		Kurzbeschreibung	73
		Ursachen	73
		Auswirkungen	76
		Verknüpfung zum globalen Wandel	78
		Bewertung	79
		Gewichtung	80
		Forschungsbedarf	81
	1.2	Klimaänderungen	82
		Kurzbeschreibung	82
		Ursachen	83

	Auswirkungen	85
	Andere anthropogene Klimaänderungen	87
	Verknüpfung zum globalen Wandel	89
	Bewertung	92
	Gewichtung	93
	Forschungsbedarf	94
1.3	Wasser	96
1.3.1	Veränderungen des Ozeans und der Kryosphäre	96
	Kurzbeschreibung	96
	Ursachen	97
	Auswirkungen	100
	Globale Auswirkungen	100
	Regionale / lokale Auswirkungen	102
	Zeitliche Auswirkungen	104
	Bewertung / Handlungsbedarf	104
	Forschungsbedarf	105
1.3.2	Qualitative und quantitative Veränderungen im Bereich Süßwasser	108
	Kurzbeschreibung	108
	Ressource Wasser	109
	Kulturgut Wasser	112
	Ursachen	113
	Lokale Ursachen	115
	Regionale Ursachen	116
	Globale Ursachen	118
	Auswirkungen	118
	Natursphäre	118
	Anthroposphäre	120
	Regionale Unterschiede	121
	Zeithorizonte	121
	Verknüpfung zum globalen Wandel	122
	Bewertung / Handlungsbedarf	126
	Gewichtung	134
	Forschungsbedarf	135
1.4	Lithosphäre/Pedosphäre	137
	Kurzbeschreibung	137
	Ursachen	141
	Auswirkungen	143
	Regelungsfunktion	146
	Nutzungsfunktionen	154
	Verknüpfung zum globalen Wandel	158
	Bewertung	158
	Bodenökologische Bewertung	158
	Bodenökonomische Bewertung	165
	Gewichtung	170
	Forschungsbedarf	170
1.5	Biosphäre	172
1.5.1	Veränderungen der Biosphäre am Beispiel Wald	175
	Kurzbeschreibung	175
	Ursachen	176
	Auswirkungen	180
	Biosphäre	180
	Anthroposphäre	182
	Verknüpfung zum globalen Wandel	182
	Bewertung	183

	Handlungsbedarf	186
	Forschungsbedarf	190
1.5.2	Abnahme der biologischen Vielfalt	191
	Kurzbeschreibung	191
	Ursachen	193
	Verknüpfung zum globalen Wandel	196
	Bewertung	196
	Handlungsbedarf	200
	Forschungsbedarf	207
2	Wandel der Anthroposphäre - Einführung	209
2.1	Bevölkerungswachstum, -migration und Urbanisierung	216
	Kurzbeschreibung	216
	Ursachen	220
	Ursachen des hohen Bevölkerungswachstums	220
	Ursachen der Zunahme von Migrationen	223
	Ursachen der zunehmenden Urbanisierung	227
	Auswirkungen	228
	Auswirkungen des hohen Bevölkerungswachstums	228
	Auswirkungen der zunehmenden Migrationen	229
	Auswirkungen der zunehmenden Urbanisierung	231
	Verknüpfung zum globalen Wandel	234
	Handlungsbedarf	237
	Forschungsbedarf	240
2.2	Veränderungen in der Wirtschaft	243
	Definitorische Vorbemerkungen	243
	Einleitung	243
	Wachstum und Entwicklung	245
	Wachstum und Marktwirtschaft	247
	Ursachen	248
	Weltwirtschaftswachstum	248
	Die Regionalstruktur des Weltwirtschaftswachstums	252
	Die Sektoralstruktur des Weltwirtschaftswachstums	263
	Auswirkungen	271
	Bewertung	276
	Handlungsbedarf	281
	Forschungsbedarf	287
2.3	Zunahme des Verkehrs	291
	Kurzbeschreibung	291
	Ursachen	292
	Auswirkungen	301
	Bewertung / Handlungsbedarf	303
	Forschungsbedarf	305
2.4	Der Mensch als Verursacher und Betroffener globaler Umweltveränderungen: Psychosoziale Einflußfaktoren	306
	Kurzbeschreibung	306
	Ursachen	309
	Folgen	312
	Determinanten des Verhaltens	315
	Umwelt als soziales Konstrukt	315
	Kognitionen (Wahrnehmung und Beurteilung) globaler Umweltzustände und -veränderungen	319
	Risikowahrnehmung und -akzeptanz	322
	Zur Rolle der Medien	323
	Werthaltungen/Einstellungen ("Umweltbewußtsein")	325

Motivation und Handlungsanreize 328
Handlungsgelegenheiten, -möglichkeiten und -kontext 330
Strategien der Verhaltensänderung 331
Bewertung 334
Handlungsbedarf 336
Forschungsbedarf 337

E Globaler Wandel: Versuch einer Zusammenschau 342

Die wesentlichen Trends, ihre Verknüpfung und die daraus resultierende Dynamik 342
Wahl des Zugangs 342
Beschreibung des Instruments 343
Anwendungsmöglichkeiten 349

F Empfehlungen 351

Empfehlungen zu Forschung und politischem Handeln 351
Forschungsbedarf 351
Handlungsempfehlungen 355

G Literaturangaben 360

Verzeichnis der Abbildungen 388

Verzeichnis der Tabellen 389

Der Beirat 390

Der Errichtungserlaß 391

A Kurzfassung

Welt im Wandel: Grundstruktur globaler Mensch-Umwelt-Beziehungen

❑ Auftrag des Beirats

In wachsender Sorge um die Bewahrung der natürlichen Lebens- und Entwicklungsgrundlagen der Menschheit hat die Bundesregierung im Frühjahr 1992 den Wissenschaftlichen Beirat Globale Umweltveränderungen berufen. Dieser Schritt erfolgt zu einer Zeit, in der sowohl die Einsicht in die Dimension des globalen Wandels als auch in die Notwendigkeit internationalen Handelns wächst. Der Beirat soll insbesondere ein jährliches Gutachten zur Lage der globalen Umwelt und den daraus resultierenden gesellschaftlichen Konsequenzen vorlegen. Dabei soll besonders auf die Fortentwicklung der 1992 in Rio de Janeiro beschlossenen oder vorbereiteten internationalen Vereinbarungen und die Ausführung der AGENDA 21 geachtet werden. Außerdem sollen die Gutachten konkrete Empfehlungen für umweltpolitisches Handeln geben und den Forschungsbedarf aufzeigen.

❑ Konzeption des ersten Jahresgutachtens

In seinem Jahresgutachten 1993 unternimmt der Beirat den Versuch einer *Ganzheitsbetrachtung* des Systems Erde, wobei die wesentlichen Wechselbeziehungen zwischen Natur und Gesellschaft im Vordergrund stehen. Damit soll einerseits die Komplexität der Umweltproblematik aufgezeigt und andererseits eine analytische Basis geschaffen werden, um die Bedeutung aktueller Trends (zusätzlicher Treibhauseffekt, Abnahme der biologischen Vielfalt, Verlust fruchtbarer Böden, Bevölkerungswachstum usw.) für das Gesamtsystem zu bewerten. Die vertiefende Behandlung von Schwerpunktthemen wird sich immer wieder an dieser "Erdsicht" orientieren und umgekehrt zur kontinuierlichen Verbesserung des Systemverständnisses beitragen.

Am Anfang des Gutachtens steht die *Abgrenzung des Gegenstandes*, d.h. die Definition dessen, was unter "Globalen Veränderungen der Umwelt" zu verstehen ist. Diese Überlegungen müssen zwangsläufig zu einer Auseinandersetzung mit dem Begriff "sustainable development" führen, der als Schwerpunkt in einem der folgenden Gutachten behandelt werden wird. Der hochaggregierten Darstellung von Natur- und Anthroposphäre und einer Analyse der Verknüpfung beider Sphären im System Erde folgt die Untersuchung der Hauptkomponenten und der dazugehörigen Trends globaler Umweltveränderungen.

Im folgenden wird ein Überblick über die Hauptaussagen der einzelnen Fachkapitel und die wichtigsten Vorschläge des Beirats zu Handlungs- und Forschungsstrategien gegeben.

❑ Atmosphäre

Die am besten überschaubare und verstandene globale Umweltveränderung ist die vom Menschen modifizierte Zusammensetzung der Atmosphäre. Daraus entstehen drei globale Probleme: der *erhöhte Treibhauseffekt* und die daran gekoppelte globale Erwärmung, die *Ozonverdünnung in der Stratosphäre* mit der Folge erhöhter ultravioletter Strahlung und die *Veränderung der Troposphäre* mit den damit verbundenen Phänomenen, z.B. dem photochemischen Smog und dem sauren Regen. Diese Prozesse sind eng miteinander verwoben und rückgekoppelt, können sich also verstärken oder aber auch abschwächen. Von diesen Veränderungen ist das gesamte System Erde betroffen.

Zur Handlungsstrategie:

- Konsequente Durchsetzung der internationalen Abkommen zum Schutz der stratosphärischen Ozonschicht und Unterstützung finanzschwächerer Länder über den dafür eingerichteten Fonds.
- Reduktion des Säureeintrags sowie der ungewollten Düngung, damit sich die versauerten Böden und eutrophierten Gewässer erholen können.
- Rückführung des troposphärischen Ozongehalts, um Beeinträchtigungen des Pflanzenwachstums, der menschlichen Gesundheit und um Änderungen der Strahlungsbilanz zu verhindern.

Zum Forschungsbedarf:

- Ermittlung der Belastbarkeit von Ökosystemen gegenüber trockenen und nassen Depositionen sowie photochemischem Smog.
- Untersuchung des CO_2-Düngeeffekts in natürlichen Ökosystemen bei gleichzeitiger Erwärmung.

❑ Klimaänderung

Wenn sich das menschliche Verhalten nicht ändert, bewirkt der anthropogene Anstieg der Treibhausgase nach dem jetzt existierenden besten Wissen schon im Laufe des nächsten Jahrhunderts eine mittlere globale *Erwärmung* von +3 °C. Diese liegt in derselben Größenordnung wie die Schwankungen beim Übergang von der Eiszeit zur Warmzeit.

Ohne Gegenmaßnahmen sind tiefgreifende Veränderungen zu erwarten, so vor allem eine Umverteilung der *Niederschlagszonen* und ein Anstieg des *Meeresspiegels* bis zum Jahr 2100 um 65 ± 35 cm.

Zur Handlungsstrategie:

- Rasche Verminderung der Treibhausgas-Emissionen aller Industrieländer, der meisten Ölförderländer und einiger Tropenwaldländer mit hoher Pro-Kopf-Emission.
- Politische Vorgaben zur Steigerung der Energie- und Transporteffizienz.
- Vorkehrungen im Hinblick auf Meeresspiegelanstieg und Niederschlagsänderungen.

Zum Forschungsbedarf:

- Bestimmung der auf Klimaänderungen besonders empfindlich reagierenden Regionen, sozialen Gruppen und wirtschaftlichen Aktivitäten.
- Untersuchung naturnaher Ökosysteme, die bei Klimaänderungen und erhöhtem CO_2-Gehalt der Luft zu größeren Kohlenstoffspeichern werden können.
- Ermittlung der Kosten unterlassener Maßnahmen (Klimaschadensfunktionen).

❑ Hydrosphäre

Die Ozeane und Eiskappen sind wesentliche Elemente im System Erde: Sie prägen langfristig und großräumig das Klima. Schwankungen des *Meeresspiegels*, Verlagerungen von *Meeresströmungen* und Änderungen der *Meereisdecke* haben massive Konsequenzen für Natur und Zivilisation. Zusätzlich wächst die Bevölkerung in den gefährdeten Küstenregionen besonders stark.

Süßwasser spielt als Lebensmittel, ökonomische Ressource und ökologisches Medium eine zentrale Rolle in der Natur- und Anthroposphäre. Außerdem war und ist Wasser für viele Völker und Religionen ein wichtiges Kulturelement. Gewässerschutz ist insofern auch Schutz der Grundlagen menschlicher Kultur.

Gefahren für die Ressource und das Kulturgut Süßwasser entstehen durch *Verknappung* und *Verschmutzung*. Damit ist häufig eine *Vergeudung* verbunden, z.B. wenn Menschen aufgrund nicht kostengerechter Preise oder Subventionierung zum unvernünftigen Umgang mit Wasser animiert werden.

Zur Handlungsstrategie:

- Sicherung der Verfügbarkeit von sauberem Trinkwasser.
- Vermeidung und Beseitigung der Wasserverschmutzung.
- Förderung des Wassersparens.

Zum Forschungsbedarf:

- Abschätzung der Einflüsse von erhöhter UV-B-Strahlung und einer Temperaturerhöhung auf marine Organismen und Lebensgemeinschaften.
- Entwicklung von Techniken zum sparsamen Umgang mit Wasser bei Bewässerung, Industrieproduktion und Versorgung der Haushalte.
- Evaluation der Wasserpolitik in einzelnen Ländern und Vorbereitung einer internationalen Wasserkonvention.

❑ Litho- und Pedosphäre (Erdkruste und Böden)

Böden bilden eine wichtige, bisher zu wenig beachtete Lebensgrundlage des Menschen und spielen bei globalen Umweltveränderungen eine bedeutende Rolle. Prozesse in Böden laufen häufig sehr langsam ab und sind daher schwer erkennbar. Schon 17 % der Böden der Welt weisen deutliche *Degradierungserscheinungen* auf, die durch den Menschen verursacht wurden. Erosion durch Wasser und Wind sind die Hauptmechanismen, hinzu kommen die chemische und die physikalische Schädigung.

Böden sind ein unersetzlicher Teil terrestrischer Ökosysteme und häufig nicht regenerierbar. Sie sind als Reserven begrenzt und können nur zu einem relativ kleinen Anteil genutzt werden. Aus dieser Erkenntnis ergibt sich auch aus globaler Sicht eine hohe *Schutzwürdigkeit* der Böden und der in ihnen und von ihnen lebenden Organismen.

Zur Handlungsstrategie:

- Durchsetzung der *Welt-Boden-Charta* und der in der AGENDA 21 niedergelegten Prinzipien zur nachhaltigen Nutzung von Böden durch deren Übernahme in die nationale und internationale Gesetzgebung und in Programme.
- Umkehr des Trends der zunehmenden Entkopplung der Stoffkreisläufe, die durch räumliche und zeitliche Trennung von Produktion und Verbrauch von Biomasse hervorgerufen wird.
- Entwicklung von globalen Beobachtungs-, Forschungs-, und Informationsnetzen für einen weltweiten Bodenschutz.

Zum Forschungsbedarf:

- Erfassung der Anreicherung von Schadstoffen in Böden und deren Freisetzung aufgrund veränderter Umweltbedingungen.
- Einbeziehung des bodenökonomischen Wertes bei der Entwicklung nachhaltiger Nutzungsformen.
- Entwicklung von ressourcen- und umweltschonenden Landnutzungsformen.

❑ Biosphäre

Mit dem Wald und der biologischen Vielfalt behandelt das Gutachten zwei ausgewählte Teilbereiche der Biosphäre. Im Hinblick auf globale Umweltveränderungen ist beim *Wald* die Rolle im Kohlenstoffkreislauf, und damit für das Klima, von besonderer Bedeutung. Dabei müssen je nach Waldtyp ganz unterschiedliche Problemlagen berücksichtigt werden. In den Wäldern der gemäßigten Breiten treten emissionsbedingt starke Waldschäden auf, und bei Aufforstungen wird durch Monokulturen die biologische Vielfalt reduziert. Darüber hinaus hat in den borealen Wäldern, insbesondere der Taiga und Kanadas, die Übernutzung bedrohliche Ausmaße angenommen. Den Tropenwäldern, unter ihnen vor allem den Regenwäldern, kommt aufgrund der hohen biologischen Vielfalt, der Irreversibilität der Vernichtung sowie der Dringlichkeit dieser Gefahr angesichts hoher Vernichtungsraten zusätzliche Bedeutung zu.

Beim gegenwärtigen Tempo der Zerstörung von Ökosystemen und Lebensräumen wird in den nächsten 25 Jahren mit dem Aussterben von ca. 1,5 Mio. *Arten* gerechnet. Ein Verlust in dieser Größenordnung ist aus ökologischen, ethischen, ästhethischen und kulturellen Gründen nicht hinnehmbar. Arten haben zudem einen langfristigen ökonomischen Nutzen, insbesondere für die Menschen in den Entwicklungsländern.

Zur Handlungsstrategie:

- Verabschiedung einer internationalen Konvention zum Schutz der Wälder (einschließlich Finanzierungs- und Sanktionsmechanismen) auf der Grundlage der Walderklärung von Rio de Janeiro.
- Verstärkte Einbeziehung der biologischen Vielfalt in alle Planungen und Programme.
- Internationale Anstrengungen zum Abbau der Verschuldungsprobleme der Tropenwaldländer.

Zum Forschungsbedarf:

- Untersuchungen zu den Möglichkeiten einer ökologisch nachhaltigen Waldnutzung in allen Waldtypen; Prüfung der Wirtschaftlichkeit nachhaltiger Forstwirtschaft.
- Klärung der Rolle der borealen Wälder im globalen Stoffkreislauf und als klimastabilisierender Faktor.
- Ermittlung der kritischen Mindestgröße und -vernetzung verschiedener Ökosysteme, um deren biologische Vielfalt und Leistung aufrechtzuerhalten.

❑ Bevölkerung

In den 90er Jahren nimmt die Erdbevölkerung jährlich um annähernd 100 Mio. Menschen zu, die sich zum größten Teil (ca. 80 Mio.) in Städten niederlassen werden. Selbst bei erheblich reduzierten Geburtenraten wird sich die Weltbevölkerung von derzeit 5,52 Mrd. Menschen bis zum Jahr 2050 mindestens verdoppeln.

Das erwartete *Bevölkerungswachstum*, das sich wesentlich auf Asien, Afrika und Lateinamerika konzentrieren wird, wird die Umwelt- und Entwicklungsprobleme erheblich verschärfen. Deren Bewältigung ist aber umgekehrt entscheidende Voraussetzung für die Reduktion des Bevölkerungswachstums. Der ungebremste Anstieg von *Wanderungsbewegungen* und die *Urbanisierung* stellen weitere wichtige Problemfelder dar, von denen auch die Industrieländer durch Einwanderungsdruck unmittelbar betroffen sind.

Zur Handlungsstrategie:

- Reduktion der Ursachen von Bevölkerungswachstum durch Bekämpfung der Armut, Gleichstellung der Frau, Anerkennung des Rechtes auf Familienplanung, Reduktion der Kindersterblichkeit, Verbesserung der Ausbildung.
- Reduktion von umweltbedingter Verdrängung (Wanderung).
- Konkretisierung raumordnerischer Leitbilder zur Steuerung von Urbanisierungsprozessen.

Zum Forschungsbedarf:

- Abschätzung der Umweltauswirkungen des Bevölkerungswachstums hinsichtlich Ressourcenverbrauch, Emissionen und Abfall.
- Ermittlung der Tragfähigkeit städtischer Strukturen.
- Analyse und Prognose internationaler Wanderungsbewegungen.

❑ Wirtschaft und Verkehr

Unter den Ursachen globaler Umweltveränderungen haben die wirtschaftliche Tätigkeit des Menschen und das Wirtschaftswachstum besonderes Gewicht. Um diese Effekte angemessen analysieren zu können, ist jedoch eine *regionale* wie auch eine *sektorale* Betrachtungsweise notwendig. Dadurch werden Zusammenhänge zwischen dem sektoralen Strukturwandel höher entwickelter Regionen und den strukturellen Änderungen in unterentwickelten Regionen mit den damit verbundenen Umwelteffekten verdeutlicht.

Dem umweltentlastenden sektoralen und regionalen Strukturwandel der Wirtschaft kommt besondere Bedeutung für eine Reduzierung der globalen Umweltbelastungen zu.

Von den verschiedenen *Ländergruppen* (hochentwickelte Länder, osteuropäische Länder, Schwellenländer, brennstoffexportierende Länder und Entwicklungsländer) gehen jeweils unterschiedliche Umweltbelastungen aus, die spezifische Lösungsstrategien erfordern.

Zur Handlungsstrategie:

- Förderung des umweltentlastenden Strukturwandels der Wirtschaft.
- Verbesserung der weltwirtschaftlichen Zusammenarbeit, vor allem zwischen Industrie- und Entwicklungsländern.
- Verbesserung des umweltpolitischen Instrumentariums, insbesondere Zuweisung klarer Eigentumsrechte, Abbau von Subventionen, die den Ressourcenverbrauch steigern, und Verschärfung des Haftungsrechts.

Zum Forschungsbedarf:

- Operationalisierung des Begriffs "sustainable development".
- Fortentwicklung und Validierung der Methoden zur Bewertung von globalen Umweltschäden.
- Verbesserung der bestehenden ökonomischen Indikatoren unter Umweltgesichtspunkten.

Im Kapitel **Verkehr** wird die globale Emissionsproblematik, die sich vor allem durch den Straßenverkehr ergibt, behandelt. Dazu werden Minderungsmöglichkeiten über die Konzepte einer Flottenstandardlösung und einer globalen Zertifikatsstrategie vorgeschlagen. Forschungsbedarf ergibt sich besonders bei der Beurteilung der globalen Auswirkungen des Flugverkehrs.

❑ Psychosoziale Einflußfaktoren

Globale Umweltveränderungen sind das Ergebnis der Wechselwirkung zwischen Natur und Gesellschaft. Menschliches Handeln ist einerseits *Ursache* für globale Umweltveränderungen, andererseits ist es von diesen *betroffen*. Schließlich ist menschliches Handeln aber auch erforderlich, um sich diesen Umweltveränderungen *anzupassen* oder sie zu *verhindern*.

Viele Umweltveränderungen sind Folge *fehlangepaßten Verhaltens*. Es gilt daher, dieses Verhalten zu verändern. Mit der Erhöhung des "Umweltbewußtseins" einer Gesellschaft oder der Verbesserung des Umweltwissens ist es aber nicht getan. Auch die Wirkung von Informations- und Aufklärungskampagnen ist oft weit geringer als angenommen. Zur Förderung umweltgerechten Verhaltens muß die Rolle der Wahrnehmung und Bewertung von Umweltrisiken sowie von Handlungsanreizen und -gelegenheiten beachtet werden. Ohne die Schaffung der entsprechenden strukturellen Voraussetzungen ist die Veränderung von Verhalten nicht möglich.

Zur Handlungsstrategie:

- Schaffung eines "Generationenvertrages", der die voraussehbaren Interessen künftiger Generationen berücksichtigt.
- Förderung eines Wertewandels und umweltentlastender Lebensstile.
- Einbeziehung sozial- und verhaltenswissenschaftlicher Erkenntnisse zu Risikowahrnehmung und -akzeptanz sowie zur Funktion von Verhaltensanreizen und Handlungsgelegenheiten bei der Planung von Maßnahmen im Politik- und Bildungsbereich.

Zum Forschungsbedarf:

- Wahrnehmung und Bewertung von Umweltproblemen in den verschiedenen Kulturregionen.
- Entwicklung von kultur- und gruppenspezifischen Strategien zur Förderung umweltverträglichen Verhaltens.
- Entwicklung von Indikatoren und Methoden zur dauerhaften Erfassung sozialer Strukturen und Prozesse mit dem Ziel der Verbesserung umweltrelevanter Entscheidungen.

❑ Versuch einer Verknüpfung

Die Erfahrungen mit der Dynamik globaler Umweltveränderungen haben zu der Einsicht geführt, daß deren Trends nur in ihrer *Verknüpfung* verstanden und allein mit *vernetzten Strategien* zu beein-

flußen sind. Mit den Analysen des Gutachtens aus Natur- und Anthroposphäre werden wichtige Voraussetzungen für eine solche, im eigentlichen Wortsinn "komplexe" Betrachtungsweise geliefert.

Der Beirat legt hierzu als Ergebnis einer qualitativen Systemanalyse die Skizze eines "*globalen Beziehungsgeflechts*" vor. Dieses Instrument soll helfen, das summarische Fachwissen zu organisieren und langfristig in ein "fachübergreifendes" Expertensystem umzuwandeln.

❑ Spezielle Vorschläge an die Bundesregierung

Der Beirat hebt abschließend drei übergreifende Vorschläge hervor:

1) Die Mittel der *Entwicklungshilfe* sollten auf 1% des Bruttosozialprodukts erhöht werden, bei Neudefinition der Zugehörigkeit zu Entwicklungsländern unter Einbeziehung Osteuropas.

2) Mit Blick auf die in Rio de Janeiro diskutierten *Instrumente* wird empfohlen:
Die dort begonnene Diskussion um eine globale Zertifikatslösung zur *Reduzierung der CO_2-Emissionen* sollte fortgeführt werden, mit dem Ziel, deren internationale Einführung zu ermöglichen. Parallel zu der dann erfolgenden CO_2-Emissionsminderung sollte auf erhöhte *Transfers* zum Schutz der Tropenwälder hingewirkt werden. Erwünscht wäre dabei eine Zweckbindung, da sie die Aufbringung der erforderlichen Mittel erleichtern würde.

3) Es müssen Programme zur *Sensibilisierung* der Bürger für globale Umweltprobleme und zur Förderung *umweltverträglichen Handelns* entwickelt werden.

B Einführung

Die globale Dimension der Umweltkrise

Sind die natürlichen Lebensgrundlagen der Menschheit bedroht ?

Umweltprobleme haben zunehmend globalen Charakter und werden sich ohne Gegenmaßnahmen in den kommenden Jahren massiv weiter verstärken. Die Hauptursachen sind allgemein bekannt: Emissionen von Treibhausgasen und Schadstoffen vor allem der hochentwickelten Länder, die Übernutzung und Zerstörung der Wälder und die Vernichtung des Lebensraumes für viele Tier- und Pflanzenarten. Dazu werden in Zukunft verstärkt Umweltbelastungen der sich entwickelnden Länder mit hohem Bevölkerungswachstum erwartet. Dies fällt zusammen mit ungelösten ökonomischen Problemen: Noch immer leben über 1 Milliarde Menschen in bitterster Armut, und es ist zu befürchten, daß der Anteil der Armen noch weiter zunimmt. Umweltzerstörung, die aus Armut entsteht, ist und bleibt daher eine globale Gefahr.

Ein ungebremster Anstieg der Treibhausgase würde eine deutliche globale, regional aber sehr unterschiedlich ausgeprägte Erwärmung bewirken, die in ihrem Tempo weit über das von der Menschheit jemals erlebte Maß hinausginge und die viele in ihrer Stärke noch unbekannte Rückkopplungen mit sich brächte. Sie wäre mit einer Verschiebung der Niederschlagsgürtel und damit der Vegetations- und Anbauzonen verbunden, ließe den Meeresspiegel beschleunigt ansteigen und führte somit zum Verlust von Inseln und Küstenzonen. Ein verstärkter Wanderungsdruck der betroffenen Menschen in andere Regionen der Erde wäre die Folge, wobei die Betroffenheit fast immer vom Auftreten bisher unbekannter Wetterextreme abhängig sein würde. Allerdings könnte es auch ein erhöhtes Pflanzenwachstum an günstigen Standorten als Folge des gestiegenen Kohlendioxidgehaltes der Luft geben.

Auch die Zusammensetzung der Atmosphäre hat sich verändert. Die Ozonschicht in 20-30 km Höhe, der lebensnotwendige Filter vor kurzwelliger ultravioletter Strahlung, wird fast überall dünner. Die Folgen einer Ozonabnahme werden, wenn auch regional sehr unterschiedlich, erhöhte Raten bei Hautkrebs und Grauem Star hervorrufen, könnten aber auch zu reduzierter Produktion von Biomasse durch Meeresalgen und zu Ernteeinbußen führen.

Weltweit nimmt die biologische Vielfalt ab, und zwar mit mindestens tausendfach höherer Rate als dies natürlicherweise jemals in den vergangenen 65 Mio. Jahren geschah. Der Schwerpunkt dieser Verluste liegt im Bereich der tropischen Regenwälder und Mangroven, aber auch in den gemäßigten Breiten ist der Schwund der Arten eindeutig beobachtbar.

Der weltweit steigende Bedarf an Lebensraum und Nahrung führt zu einer raschen Ausweitung der Landnutzung. Dadurch werden empfindliche Böden zunehmend genutzt, viele degradiert, manche zerstört.

Die Verantwortung des Menschen

Der Mensch ist zugleich Verursacher und Betroffener der beschriebenen globalen Veränderungen . In seiner dritten (und wichtigsten !) Rolle reagiert er, indem er sich an eingetretene Schäden anpaßt, oder vorsorglich handelt, um derartige Schäden zu vermeiden.

Diese Rollen des Menschen sind je nach Region und Kulturkreis verschieden ausgeprägt. So werden Unterschiede zwischen Industrie-, Schwellen- und Entwicklungsländern an vielen Stellen dieses Gutachtens zu erörtern sein. Da Menschen dazu tendieren, eher lokal zu denken und zu handeln, besteht eine der größten Aufgaben darin, das Verständnis für diese Wechselbeziehungen zu vermitteln, damit es in angemessenes Handeln umgesetzt werden kann. Das Erkennen der globalen und generationenübergreifenden Dimensionen des Umgangs mit der Umwelt muß zur Grundlage einer allgemeinen Ethik werden. Die globalen Veränderungen werden in vielen Fällen durch lokales Handeln verursacht und wirken über globale Zusammenhänge auf die lokale Ebene zurück.

Die Notwendigkeit zum globalen Handeln

Die beobachteten und noch zu erwartenden globalen Umweltveränderungen und Entwicklungsprobleme zwingen zu unmittelbarem Handeln. Diese entscheidende Botschaft der Konferenz "Umwelt und Entwicklung" der Vereinten Nationen im Juni 1992 in Rio de Janeiro darf vor dem Hintergrund lokaler Umweltschäden und nationaler Herausforderungen (z.B. die deutsche Wiedervereinigung) nicht aus den Augen verloren werden.

Der Handlungsbedarf bei globalen Umweltveränderungen ist umfassender und die Maßnahmen sind komplexer als bei Umwelteffekten, die sich ganz oder überwiegend auf das Territorium nur eines Staates erstrecken. Wenn dort ohne ausreichende Berücksichtigung der Umweltbelastungen produziert und konsumiert wird, kann die Bevölkerung dieses Staates die Vorteile des Konsums den schädlichen Umwelteffekten direkt gegenüberstellen, denn sie ist von beiden betroffen. Bei globalen Umweltveränderungen hingegen leben die Verursacher meist in anderen Ländern und Regionen als die von den Auswirkungen Betroffenen, wie das Beispiel der Erwärmung besonders deutlich zeigt. Und selbst wenn alle zugleich Verursacher und Betroffene wären, würde eine globale Umweltpolitik ungleich schwerer zu realisieren sein: Es gibt keine Weltregierung, die ein Umweltgesetz oder eine Umweltabgabe durchsetzen könnte.

Eine Politik zur Beeinflussung globaler Umweltveränderungen, die auf nationaler Umweltpolitik aufbaut, stellt also eine besondere Herausforderung dar, macht diese aber keineswegs überflüssig. Es ist notwendig, über die Änderungen von Werten und Einstellungen, nicht zuletzt durch politisch vorgegebene Rahmenbedingungen und Bildungsarbeit, ein verantwortliches Handeln des Einzelnen gegenüber der Umwelt zu bewirken und die Verantwortung der einzelnen Staaten für die Welt als Ganzes einzufordern. Auf Europa als Zusammenschluß wichtiger Industrie-, Kultur- und Wissenschaftsnationen wird insbesondere von den Schwellen- und Entwicklungsländern mit kritischer Aufmerksamkeit und großer Erwartung geblickt.

Die Aufgabe des Beirates

Vor dem Hintergrund dieser besonderen Schwierigkeiten und in Anerkennung eines speziellen Beratungsbedarfs berief die Bundesregierung im Mai 1992, im Vorfeld der Konferenz von Rio de Janeiro, den Wissenschaftlichen Beirat Globale Umweltveränderungen. Der Beirat möchte mit seiner Arbeit dazu beitragen, daß

- die in Rio de Janeiro angestoßene und zukünftig in weiteren Konventionen und zugehörigen Protokollen auszuformulierende globale Umwelt- und Entwicklungspolitik von der Bundesrepublik Deutschland weiter gefördert und wesentlich mitbestimmt wird,

- sich im eigenen Land alle Maßnahmen und Handlungen an einer Verringerung globaler Umweltveränderungen orientieren,

- die Voraussetzungen zum Zugang zu und dem Transfer von Umweltwissen und umweltverträglichen Technologien gefördert werden.

Dazu sollen zum einen Forschungsergebnisse für die politische Entscheidung aufbereitet, Kenntnislücken identifiziert und Prioritäten für die Forschungsförderung aufgezeigt werden. Zum anderen sollen die umweltpolitische Wirksamkeit und ökonomische Effizienz unterschiedlicher Maßnahmen bewertet werden, um Entscheidungen in dem schwierigen Feld globaler Umweltveränderungen zu erleichtern.

Die Arbeit des Beirats wird von der Überzeugung getragen, daß der verbreiteten Katastrophenstimmung einerseits und der Unterbewertung der langfristigen Einbußen an Umweltqualität andererseits eine nüchterne Zusammenschau der globalen Umwelt- und Entwicklungsproblematik entgegengesetzt werden muß. Aus dieser Zusammenschau müssen Wege zu realistischen Strategien nationaler und international koordinierter Umweltpolitik abgeleitet werden. Diesem Wechselspiel zwischen politischem Handeln und wissenschaftlichem Forschen beim Umgang mit den Problemen globaler Umweltveränderungen wird dabei große

Aufmerksamkeit geschenkt. Der Beirat sieht seine vordringliche Aufgabe in der Erarbeitung von Empfehlungen zu zügigem Handeln auf technischem und ökonomischem, bildungspolitischem und wissenschaftlichem Gebiet.

In seinem ersten Jahresgutachten 1993 will der Beirat durch die Analyse der Wechselwirkungen zwischen Natur- und Anthroposphäre zunächst die Dimension der Problematik deutlich machen und das Feld bereiten für eine vertiefende Behandlung von Schwerpunktthemen in den folgenden Jahren. Gleichzeitig gibt der Beirat aber auch schon erste Handlungsempfehlungen in diesem Gutachten. Die Auswirkungen der zu treffenden Maßnahmen werden teils unmittelbar spürbar, teils erst der nächsten Generation zugute kommen. Die Verantwortung für die kommenden Generationen verlangt jedoch schon heute Entscheidungen.

C Globaler Wandel: Annäherung an den Untersuchungsgegenstand

1 Definitionen

Globale Umweltveränderungen

Der Beirat versteht unter *globalen Veränderungen* der Umwelt solche, die den Charakter des Systems Erde zum Teil irreversibel modifizieren und deshalb direkt oder indirekt die natürlichen Lebensgrundlagen für einen Großteil der Menschheit spürbar beeinflussen. Globale Veränderungen der Umwelt können sowohl natürliche als auch anthropogene Ursachen haben. Um diesen Gesamtzusammenhang zu kennzeichnen, wird der Begriff des *globalen Wandels* verwendet.

Umwelt selbst wird dabei definiert als die Gesamtheit aller Prozesse und Räume, in denen sich die Wechselwirkung zwischen Natur und Zivilisation abspielt. Somit schließt "Umwelt" alle natürlichen Faktoren ein, welche von Menschen beeinflußt werden oder diese beeinflussen.

Auf der Grundlage der notwendigen Kenntnis natürlicher Umweltveränderungen konzentriert sich der Beirat auf die *anthropogenen* globalen Umweltveränderungen. Durch den Menschen verursachte Veränderungen sind oft durch ihre - im Vergleich zu natürlichen Veränderungen - hohe Geschwindigkeit charakterisiert. Sie überfordern dadurch die Anpassungsfähigkeit und die Reparaturmechanismen des Systems Erde.

Klassifikation globaler Umweltveränderungen

1. Numerische Veränderung von *Leitparametern* des Systems Erde einschließlich der belebten Umwelt hinsichtlich Mittelwert und Variabilität.
   Beispiele:
   - Relative Anteile atmosphärischer Gase
   - Temperatur von Atmosphäre und Ozeanen
   - Bevölkerungszahl und -verteilung

2. Abnahme strategischer Naturgüter (= Ressourcen) im System Erde.
   Beispiele:
   - Übernutzung von Wäldern und Degradierung von Böden
   - Erschöpfung mineralischer Rohstoffquellen
   - Reduktion der Biodiversität und damit des Genpools

3. Verschiebung und Veränderung großräumiger *Strukturen und Muster* (Größenordnung des Gesamtsystems).
   Beispiele:
   - Ausdehnung der Wüsten
   - Artenverteilung

- Urbanisierung
- Verteilung des Wohlstands
- Nord-Süd-Gefälle

4. Veränderung großräumiger *Prozesse*.
Beispiele:
- Ozeanische Zirkulation und Windsysteme
- Stoffkreisläufe (Kohlenstoff, Wasser, Nährstoffe)
- Handels- und Warenströme
- Wanderungsbewegungen

5. Modifikation der *Zusammenhänge* (Topologie) im System Erde.
Beispiele:
- Biotopvernetzung
- Wassereinzugsgebiete
- Entstehung neuer Wirtschaftsräume

Nachhaltigkeit

Die Auseinandersetzung mit globalen Umweltproblemen muß unter der Perspektive einer *nachhaltigen Entwicklung* ("sustainable development", auch "zukunftsfähige" Entwicklung) erfolgen. Die Definition dieses Begriffes entstammt ursprünglich dem Brundlandt-Bericht:

> Die gegenwärtige Generation soll ihren Bedarf befriedigen, ohne die Fähigkeit künftiger Generationen zur Befriedigung ihres eigenen Bedarfs zu beeinträchtigen.

Hierbei handelt es sich um eine Forderung mit einer umfassenden und anspruchsvollen Zielsetzung. Dazu ergibt sich eine Reihe von offenen Fragen, insbesondere nach

- der Abschätzbarkeit langfristiger Auswirkungen menschlicher Aktivitäten,
- der Vermeidbarkeit irreversibler Veränderungen des ökologischen Systems,
- der Bewertung des Zuwachses an Lebensqualität im Ausgleich mit der Natur sowohl für die gegenwärtigen als auch für die künftigen Generationen,
- Umfang, Inhalt und Reichweite einer vorsorgenden Strategie.

Mit diesen Fragen wird sich der Beirat in den nächsten Gutachten verstärkt auseinandersetzen, wobei heute schon zu erkennen ist, daß die Umsetzung in operationelle Maßnahmen an methodische Grenzen stoßen wird. Der Beirat betont aber, daß er seine Folgerungen für die zu beurteilenden bzw. empfohlenen Maßnahmen in hohem Maße auf die Belange nicht nur der heutigen, sondern auch auf diejenigen künftiger Generationen ausrichtet. Der Beirat versteht daher Nachhaltigkeit als "ökologischen Imperativ", der

zwingend die Berücksichtigung sowohl ökologischer als auch ökonomischer und soziokultureller Faktoren gebietet - und zwar nicht nur im nationalen, sondern auch im globalen Rahmen. In diesem Sinne sind alle Ausführungen des Gutachtens in den Passagen zu verstehen, in denen im Zusammenhang mit Umwelt und Entwicklung von "dauerhaft", "nachhaltig" oder "zukunftsfähig" die Rede ist.

2 Grundstruktur des Zusammenwirkens von Natur- und Anthroposphäre

Der globale Wandel hat seinen Ursprung in dramatischen Entwicklungen *innerhalb* der Anthroposphäre (Bevölkerungswachstum, Expansion der technisch-industriellen Zivilisation, Nord-Süd-Konflikt usw.), welche über die "Umwelt" auf die Natursphäre ausstrahlen und den Charakter des planetarischen Ökosystems (= Gesamtheit des irdischen Lebens + direkt genutzte, beeinflußte oder beeinflussende abiotische Komponenten) zu verändern drohen. Dies ist umso bemerkenswerter, als die Menschheit als physischer Faktor im Erdsystem bedeutungslos ist. Im Sinne eines *Relais*, d.h. durch zielgerichetes Umlenken von Energie- und Stoffflüssen, verändert sie jedoch Struktur und Leistung fragiler, aber relevanter Subsysteme der Natursphäre - mit ungewollt weitreichenden Folgen für Stabilität und Verfügbarkeit der eigenen Lebensgrundlagen.

Gerade die Tatsache, daß rationales Handeln, das lokal und im aktuellen Zusammenhang schlüssig wirkt, zu globalen und historischen Torheiten führen kann, macht die Notwendigkeit einer *"Ganzheitsbetrachtung"* der menschlichen Umwelt deutlich: Wie sonst sollten zivilisatorische Entwicklungspfade identifiziert und vermieden werden, welche - mit nicht vernachlässigbarer Wahrscheinlichkeit - das Fließgleichgewicht des planetarischen Ökosystems erschüttern könnten ? Der Beirat wird deshalb die Zusammenschau der Faktoren, Triebkräfte und Rückkopplungseffekte des globalen Wandels in den Mittelpunkt seiner Betrachtungen stellen und in den nächsten Jahren zu einer systematischen Analyse ausbauen. Auf dieser Grundlage wird es möglich sein, die Bedeutung neuer Umweltentwicklungen abzuschätzen und die Notwendigkeit bzw. Wirksamkeit politischer Strategien zu bewerten.

In der höchstaggregierten Stufe der Synopse setzt sich das Erdsystem aus Natur- und Anthroposphäre zusammen, deren Metabolismen ineinandergeflochten sind. Dieser Komplex ist im *Grunddiagramm* (Abbildung 1) dargestellt: Dabei wird die Anthroposphäre symbolisch aus der einbettenden Natursphäre herausgelöst, ohne jedoch die verbindenden "Fäden" zu durchtrennen. Die gewählte Darstellungsweise soll im Gegenteil die hauptsächlichen Wechselwirkungen zwischen den beiden Sphären identifizieren und hervorheben.

Die *Natursphäre* selbst erscheint in diesem Bild als Komposition aus folgenden Teilsystemen:

- *Atmosphäre:*

Umweltrelevant sind die *Troposphäre* (unterste Schicht, und damit Hauptreservoir der für das irdische Leben relevanten Gase sowie Medium des Wettergeschehens) und die *Stratosphäre* (vertikal stabile Schicht oberhalb der Troposphäre mit dem Ozonschild gegen UV-B Strahlung).

- *Hydrosphäre:*

Umfaßt das in den Ozeanen, den terrestrischen Reservoirs (Seen, Flüsse, Böden, usw.) sowie den organischen Substanzen enthaltene *flüssige Wasser*. Von besonderer Bedeutung für das planetarische Ökosystem ist die Struktur der energetisch-materiellen Zirkulation der Meere.

Einen wesentlichen Bestandteil der Hydrosphäre bildet die *Kryosphäre*, also das gefrorene Wasser der polaren Eisschilde, des Meereises, der Gebirgsgletscher und der Permafrostböden.

Ein verschwindend kleiner Teil der Hydrosphäre liegt als Süßwasser vor, und zwar überwiegend in gefrorener Form.

- *Lithosphäre:*

Bezeichnet die *Erdkruste* inklusive aller biogenen Ablagerungen wie *Sedimente* oder *fossile Brennstoffe*. Die Lithosphäre ist Fundament, Hauptstoffquelle und - neben der Sonne - Motor für die Evolution der Natursphäre (Vulkanismus, Plattentektonik usw.).

- *Pedosphäre:*

Umfaßt die *Böden* als Überlappungsraum von Lithosphäre, Hydrosphäre, Atmosphäre und Biosphäre mit eigenständigem Charakter und bildet das Substrat der terrestrischen Vegetation.

- *Biosphäre:*

Gesamtheit des irdischen Lebens, das sich aus der *Fauna* und *Flora* der Kontinente und Meere sowie dem Regime der *Mikroorganismen* (Bakterien, Viren) zusammensetzt.

Innerhalb der *Natursphäre* finden unzählige Austauschprozesse zwischen den aufgeführten Subsphären statt. Die wichtigsten sind im Diagramm (Abbildung 1) entweder durch *Pfeile* (z.B. Verdunstung bzw. Niederschlag) oder durch *ineinander verschränkte Grenzlinien* zwischen wechselwirkenden Systemen (z.B. Stoffaustausch zwischen Meerwasser und Erdkruste) symbolisiert.

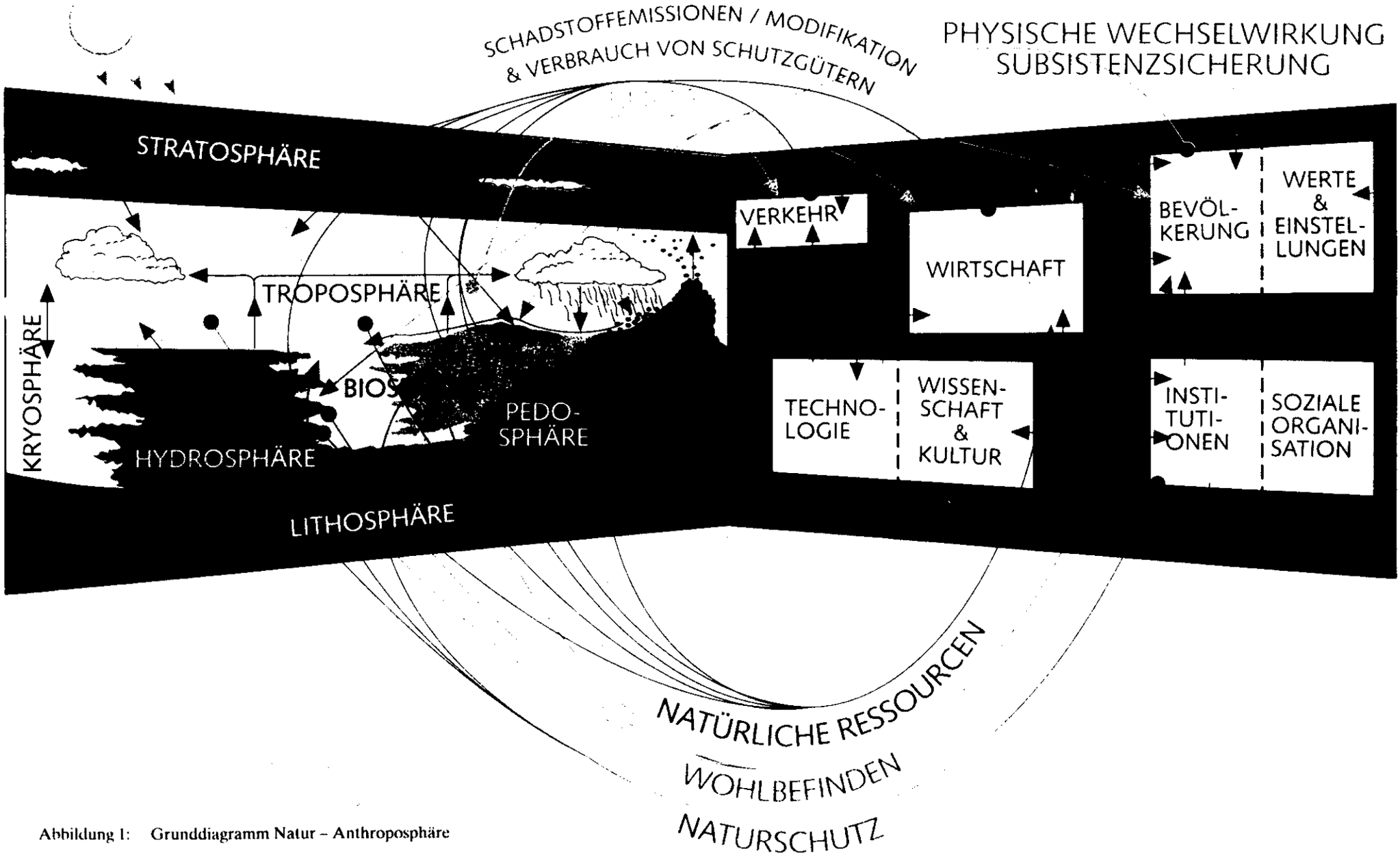


Abbildung 1: Grunddiagramm Natur – Anthroposphäre

Die *Anthroposphäre* umfaßt die Menschheit im Sinne einer Population mitsamt ihren Aktivitäten und Produkten. Der Übergang zur Natursphäre ist fließend - man denke nur an bewirtschaftete Ökosysteme wie Getreidefelder. Dies bereitet jedoch keine konzeptionellen Schwierigkeiten, wenn man die Übergangsräume, wie oben erläutert, unter dem Begriff "Umwelt" zusammenfaßt.

Für systemanalytische Zwecke ist es sinnvoll, die Anthroposphäre in folgende Komponenten einzuteilen:

- *Bevölkerung:*

  sowohl physische als auch psychische Aspekte, insbesondere Werte, Einstellungen und Verhalten

- *Soziale Organisation:*

  auf allen Ebenen bis hin zu Institutionen der nationalen und internationalen Politik

- *Expertensysteme:*

  insbesondere Wissenschaft, Technologie, Bildung und Kunst

- *Wirtschaft:*

  Erzeugung von Nahrungsmitteln und Rohstoffen (*Primärsektor*); Handwerk und Industrie (*Sekundärsektor*); Dienstleistungen (*Tertiärsektor*)

- *Verkehr :*

Ein- und Wechselwirkungen innerhalb der Anthroposphäre sind im Diagramm durch *rote Einfach- bzw. Doppelpfeile* gekennzeichnet.

Die zentrale Frage nach der eventuellen *Destabilisierbarkeit* der gegenwärtigen "Betriebsweise" der Natursphäre durch die Dynamik der Anthroposphäre läßt sich nur beantworten auf der Basis umfassender quantitativer Kenntnisse über die Kopplung der Sphären. Das Grunddiagramm identifiziert zunächst die dominierenden Wechselwirkungen und kennzeichnet sie durch *verschiedenfarbige Pfeilscharen*. Die wesentlichen Interaktionen sind:

- Nutzung natürlicher Ressourcen in ökonomischen Prozessen

- (Schad-)Stoffemissionen sowie Manipulation und Degradierung natürlicher Schutzgüter[1] durch Ökonomie einschließlich der Verkehrssysteme

[1]Schutzgüter sind Güter der Umwelt (Luft, Wasser, Böden etc.), die aufgrund ihres Nutzungswertes oder Eigenwertes vor Schäden oder Gefahren zu bewahren sind.

- Veränderung von natürlichen Systemen (Vorfluter, Vegetationsdecke, Böden usw.) durch direkte menschliche Einwirkung oder im Rahmen der Subsistenzsicherung (Unterkunft, Brennholzbedarf usw.)

- Schutz von Landschaften, Ökosystemen oder Arten durch Ordnungsrecht

- Konsumtion essentieller Lebens-Mittel (Atemluft, Trinkwasser, Spurenelemente usw.) und ästhetischer Reize (Großwild, Landschaften usw.) durch Individuen

- Klimawirkungen auf Bevölkerung, Verkehr und Wirtschaft.

In Teil D werden die Systemkomponenten und Wechselwirkungen näher analysiert.

D Globaler Wandel: Elemente einer Systemanalyse

1 Veränderungen der Natursphäre

1.1 Atmosphäre

Luft ist ein Gemisch vieler Gase und vieler Partikelarten. Sie ist wie Wasser ein wichtiges "Lebensmittel" für uns, aber auch für Pflanzen und Tiere. Ihre Zusammensetzung ist wesentlich für die Gesundheit des Menschen und zwei ihrer Bestandteile, das Kohlendioxid (CO_2) und der Sauerstoff (O_2) sind wegen der Beteiligung an der Photosynthese und der Atmung Grundbaustein des Lebens. Die Zusammensetzung der Luft ist überwiegend Folge der Evolution des Lebens auf der Erde, d.h. Lebewesen regeln über ihre Stoffwechselprodukte die Zusammensetzung der Atmosphäre und bestimmen damit das Klima auf der Erde mit.

Im Vergleich zu anderen Planeten ist die Zusammensetzung der Erdatmosphäre einzigartig, da die strahlungswirksamsten Substanzen, darunter der für die Niederschlagsbildung notwendige Wasserdampf, in geringen Mengen vorkommen. Nur rund 3 ‰ der Masse der Atmosphäre bestimmen den Strahlungshaushalt *wesentlich* (Tabelle 1) und regeln die Verteilung von Temperatur und Niederschlag entscheidend. Durch die Beeinflussung dieser Substanzen wird die Menschheit ungewollt und rasch zum globalen "Störenfried". Die sehr unterschiedliche Lebensdauer der klimarelevanten kleinen Beimengungen - von etwa 150 Jahren für das Distickstoffoxid (N_2O) bis zu einigen Stunden für das Stickstoffdioxid (NO_2) - gestattet eine einfache Einteilung in einerseits global und andererseits nur regional wirkende Substanzen: Bleibt eine Substanz im Mittel nur wenige Monate in der Atmosphäre, bevor sie chemisch umgewandelt oder abgelagert wird, betrifft sie fast nur die Erdhälfte, in der sie gebildet und/oder in die Atmosphäre emittiert wurde. Kohlenmonoxid und Ozon sind mit wenigen Monaten bzw. Tagen bis Monaten Lebensdauer solche Substanzen. Verbleiben dagegen Substanzen wie Methan rund 10 Jahre oder das anthropogene Kohlendioxid mindestens 100 Jahre in der Atmosphäre, besitzen sie zweifellos globale Wirkung, weil sie dann weltweit fast gleich verteilt auftreten. Für diese langlebigen Gase ist daher der Emissionsort von untergeordneter Bedeutung.

Das Kapitel "Atmosphäre" dieses Gutachtens soll in drei Abschnitte unterteilt werden, weil drei globale, mit der Atmosphäre verbundene Umweltprobleme auf der unterschiedlichen Lebensdauer der verursachten Substanzen beruhen:

- globale Veränderung der Zusammensetzung der Atmosphäre durch Zunahme langlebiger Treibhausgase (Abschnitt "Zunahme der langlebigen Treibhausgase")
- Zusammensetzung und globale Veränderung der Chemie in der Stratosphäre, die zu regional unterschiedlicher Ozonabnahme führt (Abschnitt "Chemie der Stratosphäre")
- Veränderung der Chemie der Troposphäre, als Folge vielfältiger regional wirksamer Emissionen mit inzwischen kontinentübergreifendem Ausmaß (Abschnitt "Chemie der Troposphäre")

Danach wird in einem Teilkapitel über die Folgen aller drei Veränderungen für das Klima berichtet, denn nicht nur der verstärkte Treibhauseffekt ist klimawirksam, sondern auch der Ozonschwund in der Stratosphäre sowie die Ozon- und Trübungszunahme in der Troposphäre.

1.1.1 Zunahme der langlebigen Treibhausgase

Kurzbeschreibung

Die natürlichen Treibhausgase der Erdatmosphäre, also jene, die die Wärmeabstrahlung in den Weltraum stärker behindern als das Vordringen der Sonnenstrahlung zur Erdoberfläche, erhöhen die Temperatur an der Erdoberfläche. In Warmzeiten wie der gegenwärtigen bewirkt dieser Effekt einen Temperaturanstieg um etwa 30 °C auf ca. +15 °C, in Intensivphasen der Eiszeit wie vor 18.000 Jahren nur auf etwa +10 °C. Nach Bedeutung gereiht sind folgende fünf Gase wesentlich treibhauswirksam: Wasserdampf (H_2O) mit ca. 70 % Anteil, Kohlendioxid (CO_2) mit etwa 15 %, Ozon (O_3) mit einigen Prozent, Distickstoffoxid (N_2O) und Methan (CH_4) mit jeweils wenigen Prozent Anteil. Wir Menschen haben zweifelsfrei die Konzentration von CO_2, CH_4 und N_2O erhöht sowie neue Treibhausgase wie die Fluorchlorkohlenwasserstoffe hinzugefügt, und damit den Treibhauseffekt verstärkt (Tabellen 1 und 2). Der Beitrag veränderter Konzentration kurzlebiger Treibhausgase, wie des Ozons, zum anthropogenen Treibhauseffekt ist noch nicht ausreichend sicher abgeschätzt, weil die vor allem in hohen Breiten beobachtete Abnahme des Ozons in der Stratosphäre (siehe 1.1.2) und die beobachtete Ozonzunahme in der Troposphäre mittlerer Breiten (siehe 1.1.3) sich je nach Region teilweise oder vollständig kompensieren können.

Die anthropogenen Quellen für die langlebigen Treibhausgase sind überwiegend bekannt. Die wichtigste ist die Nutzung fossiler Brennstoffe, also von Erdöl, Kohle und Erdgas, die insgesamt einen Anteil von etwas über 50 % an der Störung der Strahlungsbilanz hat. Je etwa 15 % stammen aus der Landwirtschaft, entweichen bei Landnutzungsänderungen oder bei der industriellen Produktion (Deutscher Bundestag, 1990).

Die wesentlichste und nur im Muster, nicht aber in der Größenordnung umstrittene Wirkung der veränderten Zusammensetzung der Treibhausgase in der Atmosphäre ist eine globale Erwärmung der Erdoberfläche und der Troposphäre, die vielfältige, bisher noch schlecht verstandene, sich verstärkende oder abschwächende Reaktionen des globalen Wasserkreislaufes und anderer Stoffkreisläufe auslösen kann (siehe 1.2).

Aber auch die direkten Wirkungen einer erhöhten CO_2-Konzentration bergen, obwohl häufig nur mit dem Schlagwort CO_2-Düngungseffekt umschrieben, so viele Risiken, daß auch aus diesem Grund gehandelt werden sollte.

Die von 154 Nationen in Rio de Janeiro im Juni 1992 gezeichnete Rahmenkonvention zum Schutz des Klimas muß jetzt wegen der direkten Wirkungen erhöhter CO_2-Konzentration rasch umgesetzt werden, auch wenn eine von uns Menschen seit mindestens 10.000 Jahren noch nie erlebte, rasche

globale Klimaänderung der Hauptgrund für das Handeln bleibt, weil sie zur wichtigsten Bedrohung der Menschheit werden könnte.

Ursachen

Von den fünf wesentlichen, natürlich vorkommenden Treibhausgasen in der Atmosphäre, die zusammen einen Treibhauseffekt von etwa 30°C verursachen, werden die Konzentrationen von Kohlendioxid (CO_2), Ozon (O_3), Lachgas (N_2O) und Methan (CH_4) von uns Menschen weltweit verändert. Nur für das fünfte Treibhausgas, den Wasserdampf, ist noch nicht klar, wie stark wir seine Konzentration erhöht haben. Wasserdampf verstärkt eine Temperaturänderung, denn seine Konzentration steigt bei einem Temperaturanstieg von 1 °C um etwa 10 %. Die Beobachtung einer Temperaturänderung, angestoßen durch Konzentrationsveränderungen von CO_2, O_3, N_2O und CH_4 wäre deshalb eher der Beweis für die eingetretene Wirkung des erhöhten Treibhauseffektes als für eine direkte Veränderung der Konzentration des Wasserdampfs durch menschliche Aktivität. Alle für den Treibhauseffekt wichtigen Spurengase zusammen stellen in Eiszeiten nur 0,2 ‰, in Warmzeiten 0,3 ‰ aller Moleküle der Atmosphäre. Dieser Unterschied ist wesentlich getragen von Änderungen der Konzentration des CO_2, das von etwa 190 ppmv vor 18.000 Jahren auf 280 ppmv in der jetzigen Warmzeit (Holozän) anstieg und seit Beginn der Industrialisierung um 1750 exponentiell auf 357 ppmv im Jahre 1992 zunahm. Methan variierte im gleichen Zeitraum relativ noch stärker, es wuchs von 0,35 über 0,7 auf 1,75 ppmv. Bei Lachgas ist bisher nur der Anstieg seit der Industrialisierung sicher bekannt, und zwar von 0,28 auf 0,31 ppmv.

Erst seit den 50er Jahren treten die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) als Treibhausgase auf. Sie behindern, ebenso wie die anderen Treibhausgase, die Abstrahlung von Wärmeenergie von der Erdoberfläche in den Weltraum. Die Produktion der beiden wichtigsten FCKW stieg bis 1974 weltweit sehr rasch mit 8,5 bzw. 11 % Zuwachs pro Jahr. Die ersten Warnungen vor ihrer ozonzerstörenden Eigenschaft während ihres chemischen Abbaus in der Stratosphäre und die daraufhin folgenden Maßnahmen einiger Länder führten dann bis etwa 1988 zu annähernd konstanter Produktion von ca. 1 Mio. Tonnen pro Jahr. Aber erst nach Inkrafttreten des Montrealer Protokolls am 1. Januar 1989, einer Ausführungsverordnung des Wiener Abkommens zum Schutz der Ozonschicht von 1985, begann der Produktionsrückgang. Dieser hat wegen der langen Lebensdauer der FCKW von einigen Jahrzehnten bis wenigen Jahrhunderten aber noch nicht zu einer Stabilisierung der Konzentrationen der FCKW in der Atmosphäre geführt; eine Verlangsamung der Konzentrationszunahme deutete sich allerdings in den vergangenen Jahren bereits an.

Die Ursachen für den Treibhausgasanstieg sind inzwischen zum größten Teil bekannt. An erster Stelle steht die Nutzung fossiler Brennstoffe durch den Menschen. Diese Nutzung erhöhte vor allem die Konzentrationen von CO_2 und

Gas	*Verweildauer*	*Volumen-Mischungs-verhältnis 1992*	*Zuwachsrate der 80-er Jahre in % pro Jahr*	*Treibhaus-potential pro Molekül, relativ zu CO_2*	*Strahlungs-bilanzstörung seit 1750 in Wm^{-2}*
H_2O	Tage bis Monate	2 ppmv bis 3.5 %	?	< 200 +	> 0
CO_2	> 100 Jahre*	357 ppmv	0.4 bis 0.5	1	1.3
O_3	Tage bis Monate	0.01 bis 10 ppmv	0 bis -0.8(S) 0 bis +2.5(T)	< 2000 +	?
N_2O	≈ 150 Jahre	0.31 ppm	0.25	200	≈ 0.1
CH_4	≈ 10 Jahre	1.75 ppmv	0.8	25 bis 30	≈ 0.5
FCKW	60 bis 300 Jahre	≈ 1 ppbv	≈ 4	10000 bis 17000	≈ 0.4
CO	wenige Monate	0.15 ppmv (NH)	≈ 1(NH)	2	> 0

Tabelle 1 : Eigenschaften der Treibhausgase in der Erdatmosphäre

NH = Nordhemisphäre
S = Stratosphäre
T = Troposphäre
\+ = maximal in der unteren Stratosphäre
* = nur anthropogener Zusatz
ppmv = parts per million (volume) = 1 Molekül auf 10^6 Moleküle (volumenbezogen)
ppbv = parts per billion (volume) = 1 Molekül auf 10^9 Moleküle (volumenbezogen)

Rang	*ungestörtes System*	*gesamter anthropo-gener Zusatz im Zeitraum 1759-1992*	*anthropogener Zusatz in den 80er Jahren*	*natürlicher plus anthropo-gener Zusatz*
1	H_2O	CO_2	CO_2	H_2O
2	CO_2	CH_4	FCKW	CO_2
3	O_3	FCKW	CH_4	O_3
4	N_2O	N_2O	N_2O	N_2O
5	CH_4			CH_4
6	CO			FCKW
7				CO

Tabelle 2 : Rangfolge einzelner Treibhausgase im natürlichen und anthropogen gestörten System

CH_4, begrenzt auch die des N_2O. An zweiter Stelle folgen Landnutzungsänderungen, die hauptsächlich CO_2 und CH_4 vermehren. An dritter Stelle kommen die industriellen Emissionen, die als Quelle für die FCKW und die übrigen halogenierten, treibhausrelevanten Kohlenwasserstoffe zu nennen sind. An vierter Stelle kommt die Landwirtschaft, die vor allem zusätzliche Emissionen von CH_4 und auch N_2O verursacht. Im Vergleich zu den Quellen ist sehr wenig über die Dynamik der Senken einzelner Treibhausgase bekannt, z.B. über die Veränderung der CO_2-Senke "Nördliche Waldgebiete" (Heimann, 1992).

Auswirkungen

Da dieser Abschnitt über die erhöhte Konzentration der Treibhausgase die Wirkung auf das Klima noch nicht behandelt, weil dieses von anderen globalen Umweltveränderungen ebenfalls beeinflußt wird und die klimaändernden Faktoren deshalb in einem eigenen Abschnitt Klimaänderung (1.2) gemeinsam geschildert werden, soll hier nur der direkte Effekt erhöhter Treibhausgaskonzentration diskutiert werden. Das betrifft im wesentlichen die direkte Wirkung erhöhter CO_2-Konzentration, denn die zwar erhöhten, aber immer noch relativ niedrigen Methan-, Lachgas- und FCKW-Konzentrationen in der Luft, haben bisher keinen erkennbaren direkten Einfluß auf Pflanzen, Tiere und Menschen.

Die Wirkung erhöhten CO_2-Gehaltes wird häufig auf die Beschleunigung des Wachstums von Pflanzen, den CO_2-Düngeeffekt, eingeengt. Aus der Kontroverse um diesen Effekt und der dadurch intensivierten Forschung ist bisher nur wenig gesichertes Wissen zustande gekommen. Viele Kulturpflanzen, die ausreichend mit Nährstoffen, Wasser und photosynthetisch aktiver Strahlung versorgt sind, bilden pro Zeiteinheit mehr Biomasse, wenn der CO_2-Gehalt der Luft erhöht, die Temperatur aber, vor allem nachts, nicht wesentlich erhöht ist. Da jedoch in natürlichen Ökosystemen häufig Wasser und/oder Nährstoffe fehlen, kann sich der CO_2-Düngeeffekt für diese Pflanzen nicht so deutlich ausgeprägen. Bei wenigen Freilandversuchen an natürlichen Ökosystemen wie der arktischen Tundra ist beobachtet worden, daß das bei erhöhtem CO_2-Angebot auftretende erhöhte Wachstum der Pflanzen schon von einer geringen Temperaturerhöhung wettgemacht wird. Dadurch wird nicht nur die Atmung der Pflanzen erhöht, d.h. ihre Stoffwechselprodukte werden wieder in stärkerem Maße zum Lebensunterhalt verbraucht, sondern es entweicht auch mehr CO_2 aus den Böden. Gewichtige Argumente, die für eine CO_2-Düngung der großen natürlichen Ökosysteme sprechen, gründen sich auf Kohlenstoffisotopen-Untersuchungen (Tans, 1992). Diese sind aber nur konsistent zu interpretieren, wenn nicht unerhebliche Teile (20 %) des anthropogenen CO_2 von der Biosphäre aufgenommen werden. Nur so kann zur Zeit das Verschwinden von etwa der Hälfte des zusätzlichen CO_2 aus der Atmosphäre in Übereinstimmung mit Aussagen der Ozeanmodelle gebracht werden.

Verknüpfung zum globalen Wandel

Da der zusätzliche Treibhauseffekt der Atmosphäre durch erhöhtes troposphärisches Ozon verstärkt und durch vermindertes stratosphärisches Ozon überwiegend geschwächt wird, sind die drei globalen Umweltveränderungen, die von der veränderten Zusammensetzung der Atmosphäre verursacht werden, eng miteinander verknüpft. Sie werden deswegen im Abschnitt 1.2 in ihrer gemeinsamen Wirkung auf das Klima behandelt. Weil der zusätzliche Treibhauseffekt außerdem von der Landwirtschaft mitverursacht wird (erhöhte Stickstoffdüngung), sind nicht nur Gebäudeheizung, Stromerzeugung und Industrieproduktion sowie der Verkehr als große CO_2-Quellen, sondern auch die Landwirtschaft als CH_4- und N_2O-Emittent in jede Verminderungsstrategie einzubeziehen, die erfolgreich sein will. Daraus folgt eine weitreichende Aufgabe: Wegen der Vielfalt der Treibhausgasquellen müssen fast alle menschlichen Aktivitäten kritisch überprüft werden !

Die unterschiedliche Reaktion der verschiedenen Pflanzengruppen auf erhöhte CO_2-Konzentration der Luft hat sicherlich Folgen für die Produktion von Biomasse, die floristische und in ihrer Folge faunistische Artenzusammensetzung in einem Ökosystem sowie für die biologische Vielfalt. Sie kann somit auf die CO_2-Konzentration zurückwirken.

Wesentlich für den Erfolg der Minderungsstrategien wird auch sein, wie weit der Bevölkerung bei uns, aber auch weltweit verdeutlicht werden kann, daß ein von uns verändertes Treibhausgas, nämlich CO_2, direkte und weitreichende Wirkung auf die Pflanzengesellschaften hat, ohne daß sich das Klima geändert haben muß.

Bewertung

Die von den Menschen verursachte Spurengaszunahme hat den lebenserhaltenden Treibhauseffekt der Atmosphäre seit Beginn der Industrialisierung so rasch erhöht, daß der spurengasbedingte Unterschied der Strahlungsbilanz der Erde schon jetzt dem spurengasbedingten Unterschied zwischen Eiszeit und Warmzeit entspricht. Der Mensch hat damit ungewollt das bisher größte geophysikalische Experiment mit einem ungewissem Ausgang gestartet.

Abgesehen von den unmittelbaren und mittelbaren Klimafolgen (siehe 1.2) kann dieses Experiment aber auch tiefgreifende andere Wirkung auf die Ökosysteme ausüben, denn das am stärksten vermehrte Treibhausgas CO_2 ist eine Grundsubstanz für das Pflanzenwachstum. Es wäre kurzsichtig, dabei nur auf die möglicherweise erhöhte Primärproduktion zu blicken: verschiedene Pflanzengruppen reagieren unterschiedlich auf erhöhten CO_2-Gehalt. Damit ändert sich die Konkurrenzsituation zwischen den Pflanzen und in ihrer Folge die Artenzusammensetzung, und zwar auch die der Tiere. Außerdem ist die Zusammensetzung der Assimilate verschieden, was auch Folgen für die

menschliche Ernährung und die Anfälligkeit der landwirtschaftlichen Produktion für einen Schädlingsbefall haben kann.

Ein weiterer, in der Diskussion um die Treibhausgaszunahme oft vergessener Aspekt muß stärker beachtet werden: erhöhte N_2O- und CH_4-Konzentrationen bewirken einen verstärkten Ozonabbau in der Stratosphäre, denn nicht nur die Chlorverbindungen aus den FCKW sind Katalysatoren für den Ozonabbau in der Stratosphäre. Die fast ausschließlich aus N_2O und zum Teil aus CH_4 gebildeten Abbauprodukte Stickstoffmonoxid (NO) bzw. das Hydroxyl-Radikal (OH) sind die wichtigsten Katalysatoren für den Ozonabbau. Angesichts der hohen Lebensdauer des N_2O von etwa 150 Jahren ist damit auch bei derzeit moderater Zunahmerate von 0,25 % pro Jahr noch ein weiteres Langzeitproblem beim stratosphärischen Ozonabbau angelaufen.

Die Reduzierung der Zuwachsraten der langlebigen Treibhausgase CO_2, N_2O und CH_4 ist also auch ohne den Bezug zu Klimaänderungen notwendig, um wesentliche Veränderungen in der Artenzusammensetzung und den weiteren Ozonabbau in der Stratosphäre zu verlangsamen und schließlich zu stoppen. Da die Emissionsorte für langlebige Spurengase angesichts deren Verbreitung fast bedeutungslos sind, ist lokales Handeln, z.B. eines kleinen Landes, zwar für eine Vorreiterrolle sinnvoll, global aber eine unzureichende Strategie. Notwendig ist möglichst rasch die Integration der nationalen Programme in den internationalen Rahmen, der in Form der Rahmenkonvention zum Schutz des Klimas bereits existiert und nach Ratifizierung von mindestens 50 der 154 Zeichnerstaaten in Kraft tritt. Verbindliche Durchführungsprotokolle zur Reduktion der weltweiten Emission der genannten Gase, allen voran CO_2, müssen daher schnell Bestandteil der Klimakonvention werden.

Gewichtung

Die Treibhausgaszunahme in der Atmosphäre ist bisher fast ausschließlich im Zusammenhang mit der dadurch provozierten globalen Klimaänderung diskutiert worden. Das dürfte auch weiterhin der Hauptdiskussionspunkt bleiben. Aber die Konzentrationszunahme des für das Leben auf der Erde sehr bedeutenden Gases CO_2 ist auch in Hinblick auf den sogenannten CO_2-Düngeeffekt, die Veränderung der Pflanzengesellschaften, die Zusammensetzung der Nahrung, erhöhten Schädlingsbefall und die Bedrohung der biologischen Vielfalt sehr wichtig. Erst eine Klärung dieser Zusammenhänge erlaubt die Antwort auf eine der komplexesten Fragen aus dem Bereich globaler Umweltveränderungen: Wie hoch darf der CO_2-Gehalt der Atmosphäre steigen, damit die Ernährung der weiter zunehmenden Bevölkerung der Erde noch gesichert ist, wenn einerseits der Treibhauseffekt durch CO_2 und andere Gase erhöht und folglich Niederschlagsgürtel verschoben werden, andererseits jedoch das Pflanzenwachstum durch erhöhten CO_2-Gehalt angeregt wird?

Forschungsbedarf

Erst wenn Stoffkreisläufe wirklich verstanden sind, kann auch eine Trendaussage versucht und der atmosphärische Teil des Kreislaufes berechnet werden.

❑ *Kohlenstoffkreislauf*

Ein zentrales Forschungsziel im Problembereich anthropogener Treibhausgase ist bei fortgeführter und intensivierter Dauermessung der Konzentration kohlenstoffhaltiger Gase in der Atmosphäre die Schließung der globalen Kohlenstoffbilanz, d.h. die Beseitigung der unbefriedigenden Situation, daß die Senke für etwa 1-2 Gigatonnen anthropogenen CO_2 bisher nicht hinreichend erfaßt ist. Dazu gehört auch die Beantwortung der Frage: Ist der CO_2-Düngeeffekt in natürlichen Ökosystemen nachzuweisen, auch dann, wenn es wärmer wird ?

❑ *Stickstoffkreislauf*

Wenig verstanden ist bisher auch der Stickstoffkreislauf, speziell die Rolle des N_2O. Wichtige Fragen lauten: Sind stark mit Stickstoffverbindungen gedüngte Flächen die Hauptquellen für den gemessenen N_2O-Zuwachs in der Atmosphäre ? Wieviel N_2O wird aus den Katalysatoren der PKW im Alltagsbetrieb freigesetzt ?

❑ *Methankreislauf*

Wichtige Fragen hierzu sind: Welche Form der Landwirtschaft erzeugt die geringsten CH_4-Emissionen ? Wieviel Methan entweicht aus auftauenden Permafrostböden ?

❑ *Kreislauf halogenierter Kohlenwasserstoffe*

Bei den halogenierten Kohlenwasserstoffen rückt nach der begonnenen Umsetzung des Montrealer Protokolls das Treibhauspotential der FCKW-Ersatzstoffe in den Vordergrund, das über die längerfristige Verwendungsfähigkeit dieser Stoffe mitentscheidend ist.

❑ *Kreislauf des Wasserdampfes*

Einfacher erscheinen dagegen die Fragen zum Wasserdampf: Nimmt er in der Stratosphäre wie postuliert zu ? Sind dafür als Ursache die Methanoxidation, die Flugzeugemissionen oder/und eine veränderte Temperatur der tropischen Tropopause anzusehen ? Wie wird der geplante Übergang zu Wasserstoff als Treibstoff für Flugzeuge die Atmosphäre in Höhen um 10 km belasten ?

1.1.2 Änderungen von Ozon und Temperatur in der Stratosphäre

Kurzbeschreibung

Insgesamt hat das Ozon in der Stratosphäre in den letzten beiden Jahrzehnten abgenommen (Stolarski et al.,1991 und 1992; WMO,1992). Diese Abnahme ist aber räumlich und zeitlich sehr unterschiedlich. In den Tropen und Subtropen, wo das Ozon überwiegend gebildet wird, sind noch keine signifikanten Änderungen aufgetreten. Besonders deutlich ist dagegen der Ozonabbau über der Antarktis im Südfrühjahr, wo im Bereich des "Ozonlochs" mit einer Fläche von ca. 15 Mio. km^2 der Ozongesamtgehalt auf etwa die Hälfte des Wertes vor 1975 abfiel. In den mittleren Breiten der südlichen Erdhälfte ist ebenfalls eine auf das Frühjahr und den Frühsommer konzentrierte Abnahme (-14 % bei 60 °S in den 80er Jahren) gemessen worden.

In den mittleren und höheren nördlichen Breiten wird eine Trendanalyse durch die große natürliche Variabilität besonders erschwert. Es gibt aber auch hier Anzeichen einer Abnahme um etwa 4 - 5 % während der letzten Dekade in den Winter- und Frühjahrsmonaten, überwiegend getragen von meistens kurzfristigen Wetterlagen, wenn es im Bereich besonders niedriger Stratosphärentemperaturen ähnlich wie in der Antarktis zur Bildung von "Polaren Stratosphärischen Wolken" kommt. In diesen führt eine heterogene Chemie unter Beteiligung der chlorhaltigen Bruchstücke der FCKW zur Ozonzerstörung. Da die meteorologischen Bedingungen über der Arktis im Mittel anders sind als über der Antarktis, konnte sich aber bisher kein "Ozonloch" ausbilden und man erwartet dies auch nicht für die nahe Zukunft (WMO 1992). Im Sommerhalbjahr ist auf der Nordhemisphäre noch kein Trend festzustellen (siehe Kasten "Gesamtozongehalt und Temperatur").

Ursachen

Natürliche Ursachen

Auch in der Stratosphäre wird eine Beurteilung von Trends, d.h. langzeitlichen Änderungen, durch die natürliche Variabilität erschwert (Labitzke und van Loon, 1990) (siehe Kasten "Gesamtozongehalt und Temperatur"). Mögliche Ursachen für natürliche Veränderungen sind die unterschiedliche Aktivität der Sonne, der Vulkanismus und Änderungen der allgemeinen Zirkulation in der Atmosphäre.

Anthropogene Ozonabnahme

Die anthropogene Ozonabnahme wird mit hoher Wahrscheinlichkeit von den chlor- und bromhaltigen Bruchstücken der FCKW und der Halone verursacht. Aber auch erhöhter N_2O-und CH_4-Gehalt tragen über die aus ihnen entstehenden ozonabbauenden Katalysatoren NO bzw. das OH-Radikal dazu bei. Da die Stratosphärentemperaturen als Folge eines verstärkten Treibhauseffekts sinken (siehe 1.1.1), könnte dies im Winter zu einer Verstärkung der

Gesamtozongehalt und Temperatur der unteren Stratosphäre sind in der Nord-Hemisphäre positiv korreliert (Abbildung 2)

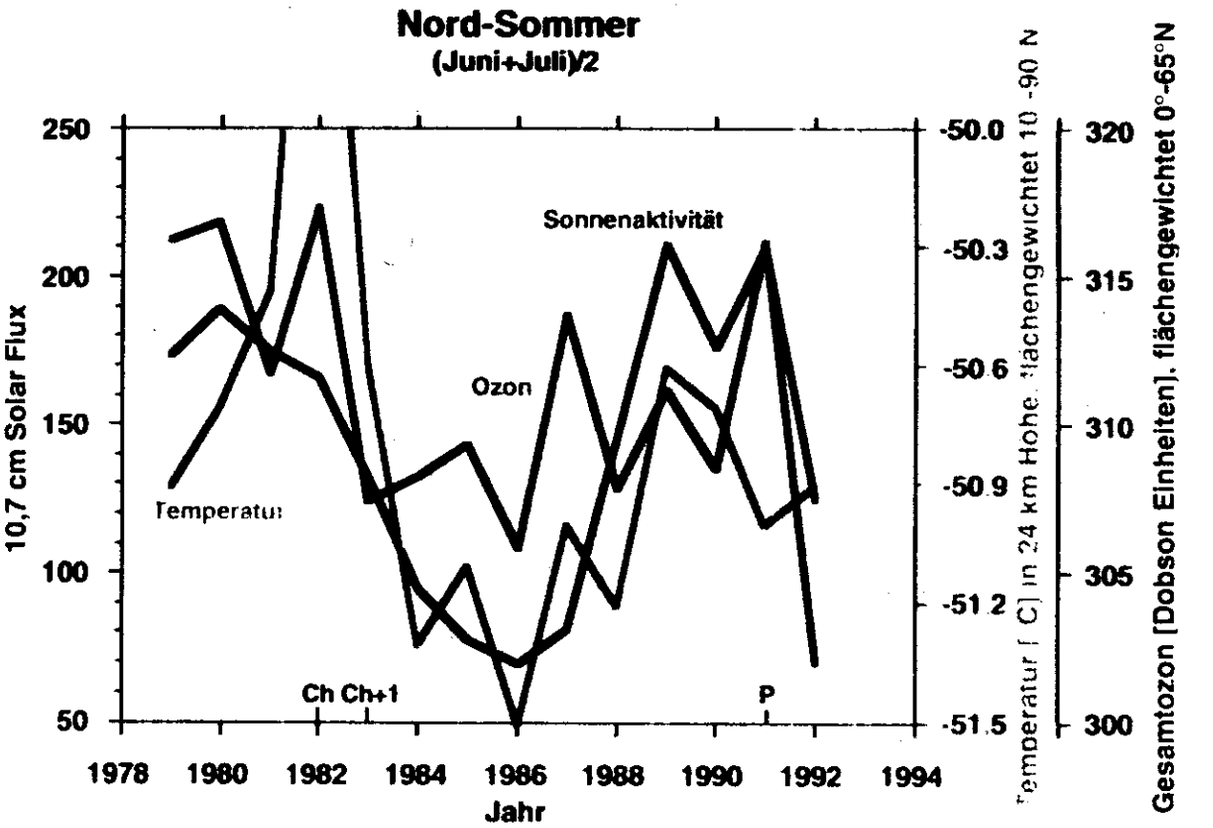
Nordsommer
Die Kurven des Ozons, der Stratosphärentemperatur und der Sonnenaktivität nehmen während des Beobachtungszeitraums von 14 Jahren einen ähnlichen Verlauf und weisen im Sommer 1986 ein deutliches Minimum auf. Die Ozonschwankungen von Sommer zu Sommer hängen mit einer natürlichen, quasi-zweijährigen Schwingung zusammen.
Zwei große Vulkaneruptionen führten zu einer drastischen Erhöhung des stratosphärischen Aerosols: El Chichon, Mexiko, April 1982 (CH) und Pinatubo, Philippinen, Juni 1991 (P). Dies führte in der Stratosphäre nach der Eruption des El Chichons zu einer starken Erwärmung (Labitzke, 1992), daher liegen die Sommertemperaturen für Juni/Juli 1982 außerhalb (oberhalb) der Skala. Die Erwärmung durch den Pinatubo fand erst nach dem Juli 1991 statt und ist hier noch nicht zu erkennen.
Das erhöhte vulkanische Aerosol führte zu einer verstärkten Ozonzerstörung, wodurch die besonders niedrigen Ozonwerte 1983, d.h. ein Jahr nach der Eruption des El Chichons (Ch+1) und 1992, d.h. ein Jahr nach der Eruption des Pinatubo (P+1) zu erklären sind (Granier und Brasseur, 1992). Ein deutlicher Trend ist in dieser Jahreszeit nicht zu erkennen.

Nordwinter
Die natürliche Variabilität von Ozon und Temperatur nimmt im Winterhalbjahr stark zu (veränderte Skalen!), und es wechseln kalte, ozonarme mit warmen, ozonreichen Stratosphärenwintern ab. Im Gegensatz zur Antarktis treten in der Arktis die extrem niedrigen Temperaturen, bei denen sich "Polare Stratosphärische Wolken" (Polar Stratospheric Clouds) ausbilden können, selten auf. Während dieser meist nur wenige Tage dauernden Perioden kann die anthropogen verursachte Zerstörung des Ozons an diesen Wolken stattfinden. Vermutlich muß man die in dieser Jahreszeit zu erkennende Ozonabnahme von etwa 12 Dobson Einheiten (ca. 4 %) innerhalb von 11 Jahren zum größten Teil diesem Prozeß zuordnen.
Wie im Sommer ist auch in den beiden Wintern nach den starken Vulkaneruptionen der ozonzerstörende Einfluß an der sprunghaften Abnahme des Ozons zu erkennen.

Daten:

Ozon:	TOMS Version 6: Total Ozone Satellite Data, NASA, z. Zt. Nov. 1978 bis Dez. 1992
Temperatur:	Institut für Meteorologie, F.U. Berlin
Sonnenaktivität:	World Data Center STP, Boulder, USA

Polarwirbel, zu einer Zunahme der "Polaren Stratosphärischen Wolken" und zu einem verstärkten Abbau des Ozons auch in der Arktis führen. Das mittlere Chlor-Mischungsverhältnis in der Stratosphäre, das ganz überwiegend durch anthropogene Emissionen von FCKW bestimmt ist, hat bei Zuwachsraten von etwa 4 % pro Jahr heute 3,3 bis 3,5 ppbv erreicht (WMO, 1992; Enquetekommission, 1992). Es wird auch nach der 2. Verschärfung des Montrealer Protokolls in Kopenhagen (November 1992) noch auf 4,1 ppbv ansteigen, bevor es voraussichtlich Anfang des nächsten Jahrhunderts zu sinken beginnt (Abbildung 3).



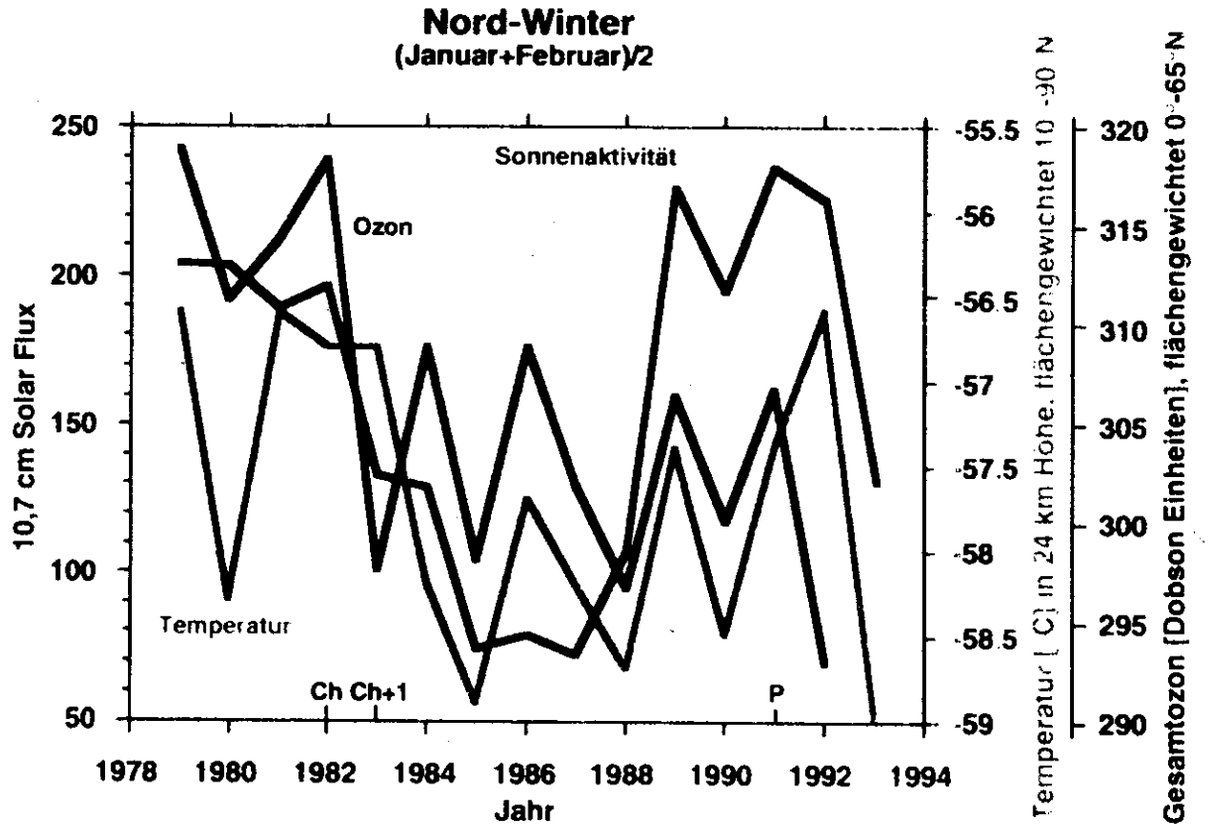


Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf von Ozongehalt und Temperatur in der unteren Stratosphäre der Nordhemisphäre sowie die Sonnenaktivität

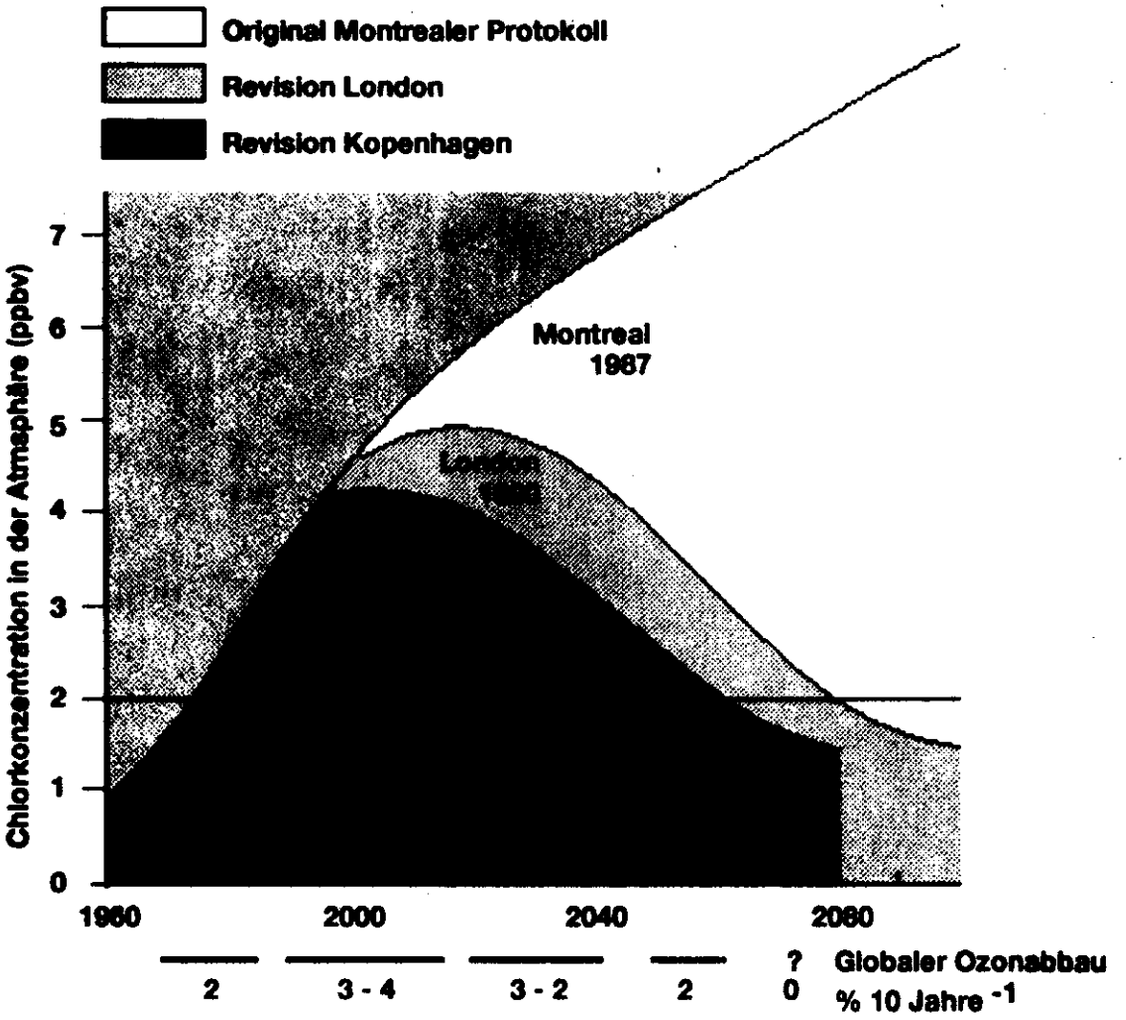


Abbildung 3: Entwicklung und Prognosen atmosphärischer Chlorkonzentrationen gemäß den zunehmend verschärften Abkommen und globale Ozonabbauraten pro Dekade bei Einhaltung der Londoner Vereinbarung
(nach WMO, 1993)

Auswirkungen

Natursphäre

Eine Abnahme des Gesamtozons führt unter sonst unveränderten atmosphärischen Bedingungen zu einer Zunahme der zur Erdoberfläche vordringenden UV-B Strahlung der Sonne, was allerdings bisher nur in der südlichen Hemisphäre häufiger und in der nördlichen Hemisphäre in Ausnahmesituationen, z.B. an der hochalpinen Station Jungfraujoch, gemessen worden ist (Blumthaler und Ambach, 1990). Im Gegensatz dazu konnte in den USA, vermutlich wegen Überlagerung von Einflüssen durch Änderung der Bewölkung und Trübung, noch kein einheitlicher Trend der Veränderung der solaren UV-B Strahlung festgestellt werden (Scotto et al., 1988; Brühl und Crutzen, 1989). Dabei muß berücksichtigt werden, daß in hohen und mittleren Breiten die natürliche Veränderung des Ozongehalts von Tag zu Tag außerordentlich groß sein kann und daß die "Natursphäre" daran gewöhnt ist.

Viele Pflanzen sind in der Lage, UV-absorbierende Substanzen zu bilden und somit tieferliegenden Zellorganellen Schutz zu bieten. Tropische Pflanzenarten, die der höchsten UV-Belastung ausgesetzt sind, sind offenbar besonders belastbar und damit angepaßt. Wie groß die Toleranz-Spielräume bei einer möglichen künftigen UV-B Erhöhung sind, muß eingehend untersucht werden. Messungen von Smith et al. (1992) zeigen z.B., daß während einer "Ozonloch"-Situation am Rande der Antarktis die Nettoprimärproduktion des marinen Phytoplanktons reduziert war. Vorhersagen über quantitative Auswirkungen, z.B. auf die globale Nahrungsmittelproduktion sind zur Zeit nicht möglich (Tevini, 1992). Eine Erhöhung der UV-B Strahlung würde auch die troposphärische Chemie verändern (siehe 1.1.3) und die Photosmogbildung verstärken, wenn, wie in Industriegebieten, genug Stickoxide (NO_x) vorhanden sind. Die beobachtete Abnahme des stratosphärischen Ozons hat darüberhinaus auch Einfluß auf das Klima, denn als drittwichtigstes Treibhausgas wird das Ozon den Treibhauseffekt der Atmosphäre in hohen Breiten abschwächen. Dabei kommt es beim troposphärischen wie auch beim stratosphärischen Ozon sehr genau auf die horizontale und vertikale Struktur der Änderungen an (Schwarzkopf und Ramaswamy, 1993).

Anthroposphäre

Neben positiven Auswirkungen der UV-Strahlung auf den Menschen, wie Vitamin-D-Bildung, verbessertem Sauerstofftransport im Blut und günstigen Auswirkungen auf die Psyche (Blumthaler und Ambach, 1990), sind eine Reihe gesundheitlicher Risiken bekannt. Als akute Reaktionen sind Erythem (Sonnenbrand) und Keratitis (Schneeblindheit) zu nennen, als Reaktionen mit langer Latenzzeit verschiedene Formen des Hautkrebses und der Kataraktbildung (Grauer Star). Dabei ist zu beachten, daß eine Ozonabnahme um z.B. 1 % die biologisch wirksame UV-B Strahlung um höhere Prozentbeträge zunehmen läßt. Je nach betroffenem Zelltyp können um 2 - 5 % erhöhte Schädigungen auftreten.

Da die Ozonabnahme bis jetzt außerhalb der Antarktis noch gering war, ist nach allgemeiner medizinischer Auffassung die in vielen Ländern beobachtete Zunahme von Hautkrebs das Ergebnis einer verstärkten Exponierung der Haut in den letzten Jahrzehnten, insbesondere durch verändertes Freitzeitverhalten.

Dieser Befund bestätigt jedoch die Gefährdung der menschlichen Gesundheit durch erhöhte UV-B Bestrahlung der Haut. Ob es bei erhöhter UV-B Strahlung auch zu einer Schwächung des Immunsystems kommt, ist nicht gesichert. Der Zusammenhang zwischen Trübung der Augenlinse und UV-B Strahlung ist jedoch nicht umstritten.

Zeitskala

Auch wenn sich alle Nationen an das im November 1992 in Kopenhagen erweiterte, erneut verschärfte Montrealer Protokoll halten, ist ein Anstieg des Chlormischungsverhältnisses in der Stratosphäre auf 4,1 ppbv bis zum Jahr 2000 zu erwarten. Damit ist in den 90er Jahren mit einem verstärktem Ozonabbau, vergleichbar mit dem der 80er Jahre, zu rechnen (WMO,1992). Nach Modellrechnungen kann man, bei strikter Einhaltung der Protokolle, erst Mitte des nächsten Jahrhunderts eine Abnahme des Chlorgehalts in der Stratosphäre auf Werte von 2 ppbv erwarten, d.h. auf die Werte, die vor dem Auftreten des "Ozonlochs" vorhanden waren (Abbildung 3).

Verknüpfung zum globalen Wandel

Da Ozon drittwichtigstes Treibhausgas der Atmosphäre ist, bedeutet eine Ozonzunahme auch immer eine globale Klimaveränderung (siehe 1.2). Ein erhöhter Treibhauseffekt führt andererseits zu einer Abkühlung der Stratosphäre, wodurch sich in den winterlichen Polarregionen mehr "Stratosphärische Wolken" bilden können, so daß Ozon verstärkt abgebaut werden kann.

Erhöhte UV-B Strahlung verringert die Biomassebildung (Smith et al., 1992) durch das Phytoplankton. Damit schwächt der Ozonabbau aber auch eine der großen Senken für das CO_2, die produktiven Meeresregionen um die Antarktis. Über diesen Prozeß können zur Zeit noch keine quantitativen Aussagen gemacht werden.

Die Nahrungsmittelproduktion einer wachsenden Bevölkerung führt zur Zunahme der Treibhausgase Methan und Lachgas. Der Methangehalt der Atmosphäre steigt schneller als der CO_2-Gehalt. Ungefähr 70 % des Methans stammen aus pflanzlichen und tierischen Quellen wie Reisfeldern und Wiederkäuern. Auch Lachgas wird in der Landwirtschaft bei zu stark gedüngten Acker- und Grasländern gebildet (siehe 1.4). Beide Gase bauen über die aus ihnen entstehenden Katalysatoren NO bzw. das OH-Radikal Ozon ab, was über

die intensivierte UV-B Strahlung eventuell zur Minderung der Ernte führen kann.

Der Luftverkehr führt vermutlich zu einer Erhöhung der Ozonkonzentration in der oberen Troposphäre und einem Ozonabbau in der unteren Stratosphäre mit den bereits beschriebenen Rückkopplungen zum Klima. Eine enge Verknüpfung besteht auch zur Chemie der Troposphäre (siehe 1.1.3), wo Ozon lokal, besonders in der Nähe von Industriegebieten, zunimmt. Diese Zunahme ist nur teilweise als ein günstiger Effekt ("healing effect") anzusehen. Ozon ist als ein giftiges Gas, das u.a. zu einer Schädigung der Atemwege führt, in der Troposphäre unerwünscht, zumal es auch den Treibhauseffekt verstärkt (siehe 1.1.1). Andererseits absorbiert auch das troposphärische Ozon die UV-B Strahlung, so daß troposphärisches Ozon in diesem Punkt geringfügig den Verlust des stratosphärischen Ozons kompensiert. In Hinblick auf die Oxidationskapazität der Troposphäre, die von der Einwirkung der UV-Strahlung auf eine wasserdampfhaltige Atmosphäre abhängt, hätte eine gewisse Zunahme der UV-Strahlung (beziehungsweise eine Abnahme des stratosphärischen Ozons) durchaus einen positiven Effekt, da die Oxidationskapazität zur Zeit für die belastete Atmosphäre nicht ausreicht (siehe 1.1.3).

Handlungsbedarf

Die Abnahme des stratosphärischen Ozons erhöht für viele Regionen der Erde die gefährliche UV-B Strahlung, sie ist daher eine große Gefahr für die Menschheit, alle Landlebewesen und das Plankton. Die Völkergemeinschaft hat diese Gefahr erkannt und das Wiener Abkommen zum Schutz der Ozonschicht (1985) und das dazu gehörende Montrealer Protokoll (1987) im Juni 1990 in London und im November 1992 in Kopenhagen weiter verschärft (Tabellen 3 und 3). Diese Regelungen, die den raschen Ausstieg aus der Produktion von FCKW und Halonen vorschreiben, müssen jetzt umgesetzt werden. Vor allem müssen Techniken für die Herstellung von Ersatzstoffen in den Schwellenländern mitfinanziert werden, um alle Produzentenländer der Dritten Welt beim Einhalten der Protokolle zu unterstützen.

Nach der Ächtung der FCKW und einiger Halone ist jetzt den weiteren Vorläufergasen ozonabbauender Moleküle besondere Aufmerksamkeit zu widmen: zu nennen sind Lachgas (N_2O) mit dem Abbauprodukt NO und Methan (CH_4), bei dessen Oxidation in der Stratosphäre Wasser und daraus OH-Radikale gebildet werden. Beide Treibhausgase nehmen bei der Nahrungsmittelproduktion einer wachsenden Bevölkerung zu.

Historische Entwicklung politischen Handels

National		*International*
1985	Wiener Übereinkommen zum Schutz der Ozonschicht	1988 ratifiziert

1987	Montrealer Protokoll: FCKW (11, 12, 112, 114, 115) Einfrieren der Produktion auf dem Niveau von 1986; Reduktion der Produktion um 20 % bis 1994, um 50 % bis 1999	1988 ratifiziert
1990	London: Verschärfung des Montrealer Protokolls	1990 zugestimmt
1992	Kopenhagen: Weitere Verschärfung des Montrealer Protokolls	1992 zugestimmt

Forschungsbedarf

❑ *Langzeitmessungen*

Zur Erfassung der Veränderungen des Ozons und der Temperatur in der Stratosphäre sind eine Fortführung und Verstärkung der Langzeitmessungen ("monitoring") notwendig. Insbesondere ist eine Beteiligung am "WMO Global Ozone Observing System" (GO_3OS) zu empfehlen.

❑ *Diagnose:*

Zum Verständnis der natürlichen und anthropogenen Veränderungen des Ozons ist eine sorgfältige Diagnose auch bereits vorhandener Daten, sowie eine verstärkte Modellierung zur Vorhersage der Trends, insbesondere der vertikalen Struktur der zu erwartenden Änderungen, notwendig.

❑ *Messung der UV-B Strahlung*

Dringend benötigt werden Messungen der UV-B Strahlung und deren Auswirkungen auf Pflanzen und Tiere, möglichst gleichzeitig an einigen speziell dafür ausgewählten Stationen.

❑ *Meßkampagnen*

Die aktive Teilnahme an internationalen Meßkampagnen zum besseren Verständnis der zur Ozonzerstörung führenden Prozesse ist erforderlich, weil durch den koordinierten Einsatz verschiedener Meßplattformen weit effektiver neue Erkenntnisse gewonnen werden.

❑ *Flugverkehr*

Die Untersuchung des Einflusses wachsenden Flugverkehrs auf den Ozongehalt der oberen Troposphäre und der unteren Stratosphäre ist bereits Bestandteil verschiedener Forschungsschwerpunkte, sie muß wegen der Komplexität des Problems aber langfristig gesichert werden.

❑ *Internationale Forschungsprogramme*

Die Mitarbeit in internationalen Forschungsprogrammen, z.B. im WCRP (World Climate Research Programme) und im IGBP (International Geosphere Biosphere Programme) sollte dauerhaft sichergestellt werden.

Substanzen/Funktion	*FCKW*	*R 22 (HFCKW)*	*Methylchloroform*	*Tetrachlorkohlenstoff*	*Halone*
Aerosole	August 1991	August 1991	August 1991	nicht in Gebrauch	nicht in Gebrauch
Kühlmittel			nicht in Gebrauch	nicht in Gebrauch	nicht in Gebrauch
- *großskalig*	Januar 1992	Januar 2000			
- *großskalig, mobil*	Januar 1994	Januar 2000			
- *kleinskalig*	Januar 1995	Januar 2000			
Schäume				nicht in Gebrauch	nicht in Gebrauch
- *Verpackungsmaterial*	August 1991	August 1991			
- *Detergentien*	August 1991	August 1991			
- *Baustoffe*	August 1991	Januar 1993			
- *Isolierungen*	Januar 1995	Januar 2000			
- *andere*	Januar 1992	Januar 2000			
Reinigungs- und Lösungsmittel	Januar 1992	nicht in Gebrauch	Januar 1992	Januar 1992	nicht in Gebrauch
Löschmittel	nicht in Gebrauch	nicht in Gebrauch	nicht in Gebrauch	nicht in Gebrauch	Januar 1992

Tabelle 3: Deutscher Zeitplan für den Ausstieg aus ozonschädigenden Verbindungen
(Cutter Information Corp., 1993)

Drucksache 168/94

Jahr	*FCKW*	*Halone*	*Methylchloro-form*	*Tetrachlor-kohlenstoff*	*Methylbromid*	*HFCKW*
1994	75%	100%				
1995				85%	Einfrieren der Produktionsrate	
1996	100%		100%	100%		Einfrieren der Produktionsrate
2004						35%
2010						65%
2015						90%
2020						99,5%
2030						100%

Globaler Zeitplan

Jahr	*FCKW*	*Halone*	*Methylchloro-form*	*Tetrachlor-kohlenstoff*	*Methylbromid*	*HFCKW*
1994	85%	100%	50%	85%	Angaben stehen noch aus	Angaben stehen noch aus
1995	100%			100%		
1996			100%			35%

EG Zeitplan

Tabelle 4: Verminderung der Produktionsraten ozonzerstörender Chemikalien

Alle Angaben beziehen sich auf den 1. Januar. Bezugsjahr für Halone und die meisten FCKW ist 1986 (die FCKW, die erstmals auf der Londoner Konferenz reguliert wurden, haben 1989 als Bezugsjahr). Bezugsjahr für Methylchloroform, Tetrachlorkohlenstoff und HFCKW ist 1989. Das Einfrieren der Methylbromidproduktion bezieht sich auf die Werte von 1991. Die Produktion von Bromfluorkohlenwasserstoffen läuft 1996 aus.
(Cutter Information Corp., 1993)

1.1.3 Veränderte Chemie der Troposphäre

Kurzbeschreibung

Die vielfältigen aus menschlichen Aktivitäten resultierenden Spurenstoffemissionen einschließlich der Vegetationsbrände in den Subtropen und Tropen haben die Chemie der Troposphäre verändert, die natürlicherweise für den Abbau von Spurengasen sorgt. Dies geschieht durch chemische Umwandlungen und Depositionsprozesse. Die Veränderung bewirkte eine Verminderung dieser Selbstreinigungskraft der Troposphäre.

In einigen Regionen der Erde hat die veränderte Spurengaszusammensetzung zu einer Reihe von toxischen Einflüssen auf die Biosphäre geführt. Es sind dies die industrialisierten Regionen der mittleren Breiten der Nordhemisphäre sowie während der Trockenzeit diejenigen Gebiete der Subtropen und Tropen, in denen Wald- und Savannenbrände für eine spätere landwirtschaftlichen Nutzung gelegt werden.

Ob die Selbstreinigungskraft der Atmosphäre in diesen Regionen bereits geschwächt ist, oder aber dies aufgrund kompensatorisch wirkender Prozesse noch nicht eingetreten ist, bleibt zu klären. Die Ozonkonzentration hat in diesen Regionen stark zugenommen. In Episoden photochemischen Smogs, der vor allem in den industrialisierten Regionen im Sommer auftritt, führt die Luftverschmutzung zu Gesundheitsschäden bei Millionen von Menschen, zu Vegetationsschäden und zu Ernteeinbußen. Der erhöhte Ozongehalt ist zudem klimarelevant, da er den Treibhauseffekt verstärkt. Die erhöhte Lufttrübung der Troposphäre fördert die Rückstreuung von Sonnenstrahlung. Beide Effekte sind zur Zeit wesentliche Unsicherheitsfaktoren bei der Abschätzung anthropogener Klimaänderungen, da nur ihre Vorzeichen, nicht aber die Größenordnungen bekannt sind. Die mit der Verschmutzung der Atmosphäre einhergehende "Düngung" aller Ökosysteme bedroht die biologische Vielfalt und fördert im allgemeinen die Versauerung von Böden und Gewässern.

Die Eindämmung der hier beschriebene Luftverschmutzung sollte an Strategien zur CO_2-Emissionsminderung gekoppelt werden, da die Verschmutzunmg der Luft fast immer mit CO_2-Emissionen verbunden ist. Außerdem ist, ähnlich wie bei den Problemkreisen des stratosphärischen Ozonabbaus und der Klimaänderung durch erhöhten Treibhauseffekt, eine verstärkte internationale Koordinierung notwendig.

Ursachen

Die Chemie der Troposphäre wird von Wasserdampf und einer Reihe von Spurengasen bestimmt, die zusammen weniger als 0,1 % der Luftmasse ausmachen, während die Hauptbestandteile der Luft fast nicht reagieren. Aktivitäten des Menschen haben die Spurengaszusammensetzung merklich verändert. Dieser Prozeß hat heute globale Dimension erreicht. Spurenstoffe können sich nur dann überregional verteilen, wenn ihre Verweildauer in der

Atmosphäre zumindest mehrere Wochen beträgt. Stoffe, die schon nach kurzer Zeit durch chemische Abbaureaktionen oder durch Deposition aus der Atmosphäre entfernt werden, können diese nur lokal oder regional verändern. Damit sind räumliche Skalen unter 100 km bzw. zwischen hundert und wenigen tausend Kilometern gemeint. Neben den emittierten Stoffen müssen auch deren atmosphärische Umwandlungsprodukte bei den Bewertungen berücksichtigt werden.

Verweildauer und Abbauprodukte vieler Spurenstoffe in der Troposphäre sind wichtige Teilaspekte globaler Stoffkreisläufe. Durch nasse und trockene Depositionsprozesse wird die atmosphärische Verweildauer vieler, insbesondere gut wasserlöslicher Spurenstoffe begrenzt. Für viele, in die Troposphäre natürlich oder anthropogen emittierte Verbindungen ist jedoch die chemische Reaktion mit einem einzigen Spurenstoff, dem Hydroxylradikal (OH) für die Verweildauer maßgebend. Das Hydroxylradikal stellt das natürliche "Waschmittel" der Troposphäre dar, das den oxidativen Abbau nahezu aller relevanten Spurengase einleitet. Eine Verringerung der Konzentration dieser chemischen Spezies kommt einer Schwächung der Oxidationskapazität und damit der Selbstreinigungskraft der Troposphäre gleich.

Die Spurenstoffe Methan (CH_4) und Kohlenmonoxid (CO) haben seit vorindustrieller Zeit weltweit, bzw. in den letzten Jahrzehnten zumindest auf der Nordhalbkugel zugenommen (IPCC 1990; Levine et al., 1985; Cicerone, 1988; Khalil und Rasmussen, 1991). Neben landwirtschaftlichen Aktivitäten und der Erdöl- und Erdgasgewinnung, -verarbeitung und -verteilung, sind unvollständige Verbrennungsprozesse wichtige Quellen dieser Spurengase. Global gesehen sind Methan und Kohlenmonoxid die wichtigsten Reaktionspartner des OH-Radikals. Als Folge davon kann angenommen werden, daß die Konzentration des Hydroxylradikals global abgenommen hat, also die Selbstreinigungskraft der Troposphäre geschwächt wurde (Levine et al., 1985; Lu und Khalil, 1992). Dies kann trotz fehlender OH-Messungen indirekt mit Hilfe der Verteilung und zeitlichen Veränderung von Reaktionspartnern des Hydroxylradikals gezeigt werden. Direkte Messungen sind wegen des extrem geringen Mischungsverhältnisses von etwa $3*10^{-5}$ ppbv schwierig und liegen kaum vor. Eine Ausdünnung der stratosphärischen Ozonschicht hat, über die Änderung der photochemisch relevanten UV-B Strahlung, möglicherweise Konsequenzen für die Chemie der Troposphäre. Die Signifikanz dieser Veränderung ist nicht bekannt. Die jüngst beobachtete verringerte Zuwachsrate von CH_4 könnte Ausdruck einer erhöhten photochemischen Aktivität sein.

Die Chemie stickoxidreicher Luftmassen ist, unabhängig von der Art der Quellen, ob industrielle Emittenten oder Biomassenverbrennung, gegenüber dem anthropogen unbelasteten Zustand stark verändert: Episoden photochemischen Smogs werden häufiger. Sie sind in erster Linie ein lokales oder regionales Phänomen mit erhöhten Konzentrationen der Radikalverbindungen,

oxidierten und teiloxidierten Kohlenwasserstoffen, Ozon und anderen Photooxidantien. Viele dieser Stoffe sind ökotoxikologisch relevant.

Eine Klasse von Photooxidantien, die Peroxyacylnitrate, haben jedoch durchaus die Potenz, überregional transportiert zu werden. Dabei handelt es sich um Verbindungen, die als Reservoire für Stickoxide dienen und diese in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen erneut freizusetzen in der Lage sind. Als Reinluftgebiete sind in diesem Zusammenhang Luftmassen identifiziert, deren Stickoxid-Mischungsverhältnis nicht auf mehr als etwa $5*10^{-3}$ ppbv erhöht ist. Dies ist nur in anthropogen wenig beeinflußten Regionen der Fall. In den stark industrialisierten mittleren Breiten der Nordhalbkugel dagegen, wie auch in den Wald- und Savannengebieten der Subtropen und Tropen während der Trockenzeit herrschen weit höhere Stickoxid-Konzentrationen vor. In den letztgenannten Gebieten sind Vegetationsbrände die Emittenten . Unter diesen Bedingungen führt die atmosphärische Chemie des Kohlenmonoxids und der Kohlenwasserstoffverbindungen unter Sonneneinfluß zu Ozonbildung. Mit zunehmenden Quellstärken der Vorläufersubstanzen Stickoxide und Kohlenwasserstoffe bzw. Kohlenmonoxid ist eine steigende Tendenz zu Episoden photochemischen Smogs gegeben. Bei den Quellen industrieller Art ist der Verkehr die wichtigste, für die Brände in den Subtropen und Tropen während der Trockenzeit sind es vor allem landwirtschaftliche Aktivitäten.

Die Ozonkonzentration hat sich in diesen Regionen sehr wahrscheinlich durch die menschlichen Aktivitäten erhöht. In den vergangenen 100 Jahren hat sie sich über Europa verdoppelt (Volz und Kley, 1988).

Die Produktion von troposphärischem Ozon birgt andererseits die Potenz, das Oxidationspotential zu stärken. Der gegenwärtige Wissensstand läßt jedoch noch keine sichere Aussage über eine Veränderung der OH-Konzentration in den genannten stickoxidreichen Regionen zu, erste Hochrechnungen ergaben erhöhte Werte (Crutzen und Zimmermann, 1991).

Es wurde ferner darauf hingewiesen, daß in den Brandrodungs- und in anthropogen beeinflußten Küstengebieten eine möglicherweise stark veränderte nächtliche Luftchemie abläuft. Diese wird durch stark erhöhte Konzentrationen von Radikalverbindungen, vor allem Peroxyradikalen, verursacht. Diese Verbindungsklasse entsteht beim chemischen Abbau von Kohlenwasserstoffen (Platt et al., 1990).

Anorganische Säuren bilden eine Stoffgruppe mit relativ kurzen atmosphärischen Verweilzeiten und damit höchstens regionaler Reichweite. In den industrialisierten Regionen haben sie den natürlichen Säuregehalt von Niederschlägen (neben Regen zählen hierzu Niederschläge durch Schneefall, Tau und Nebel) stark erhöht ("saurer Regen"). Dynamik und Chemismus dieser

Vorgänge sind heute gut verstanden. Infolge von Brandrodungen und Savannenbränden kommt es in weiten Bereichen der Tropen und Subtropen zu einer analogen Versauerung der Niederschläge, wobei aber vermutlich organische Säuren wichtiger sind (Helas et al., 1991). Die Verbreitung und Bedeutung dieses Phänomens ist noch nicht gut untersucht.

Die Verbrennung von Biomasse während der Trockenzeit in den Subtropen und Tropen verdient besondere Erwähnung. Man nimmt an, daß jährlich 6 - 7 Mrd t Biomasse vornehmlich in den Wald- und Savannengebieten der Erde verbrannt werden (Angaben bezogen auf Trockenmasse; Seiler und Crutzen, 1980; Hao et al., 1990). Biomassenverbrennung setzt etwa die Hälfte der anthropogenen Emissionen an Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffen und Stickoxiden frei. Zusammen mit diesen und weiteren, teilweise klimarelevanten Spurengasen werden große Mengen rußhaltigen Aerosols emittiert (siehe 1.2). Mit der Verbrennung großer Mengen an Biomasse ist ein Eingriff in Stoffkreisläufe verbunden. Man schätzt, daß auf diese Weise jährlich 10 - 20 Mio. t Stickstoff durch Emission als molekularer Stickstoff (N_2) der Biosphäre entzogen werden, was 6 - 20 % der jährlichen Stickstoffixierung entspricht (Crutzen und Andreae, 1990).

Die industriellen Zentren der Nordhalbkugel emittieren eine Vielzahl toxikologisch relevanter Spurenstoffe, von denen zumindest einige global verteilt werden, darunter Schwermetalle (Blei, Quecksilber). Vermutlich werden steigende Mengen an Aerosol in diesen Gebieten gebildet. Ursache ist die zunehmende Emission aerosolbildender Gase, vor allem des Schwefeldioxids (SO_2) bei Verbrennungsvorgängen aller Art.

Inwiefern wichtige chemische Prozesse der Atmosphäre durch steigende Aerosolkonzentrationen (zunehmende Wahrscheinlichkeit von Oberflächenreaktionen mit Partikeln) beeinflußt werden, ist noch nicht vollständig verstanden. Die Verweildauer von Aerosolpartikeln in der Atmosphäre erlaubt nur lokale bis regionale Wirkungen. Da sie in den Strahlungshaushalt eingreifen, bergen diese regionalen Effekte die Gefahr, auf das Klima zu wirken (siehe 1.2). Besondere meteorologische Konstellationen machen es möglich, daß auch abgelegene, emissionsferne Gebiete beeinträchtigt werden. Diese Wetterlagen treten regelmäßig im Frühjahr bei dem Phänomen des "Arktischen Dunstes" auf, wobei stark verschmutzte Luftmassen aus Mittel- und Osteuropa in die europäische Arktis transportiert werden.

Auswirkungen

Lokal und regional auftretende Schadensbilder sind teilweise schon länger bekannt und weitgehend verstanden (z.B. "Londoner Smog", "Los Angeles Smog", Versauerung von Gewässern, neuartige Waldschäden). In zunehmendem Umfang werden jedoch größere Räume erfaßt und einige dieser Phänomene haben heute überregionale Dimension erreicht.

In seinen Gutachten 1985 und 1987 hat der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen ausführlich für das Gebiet der Bundesrepublik Stellung genommen. Im folgenden werden jene Wirkungen genannt, die regionale oder überregionale Dimensionen haben.

- Der Eintrag von Spurenstoffen in Ökosysteme über den atmosphärischen Pfad verändert die Konzentrationen von Nähr- und Schadstoffen mit Folgen für die Ernährungsbedingungen und die Artenzusammensetzung. Ein Beispiel dafür ist der Säureeintrag in Seen Nordeuropas und der östlichen Teile der USA und Kanadas. Waldschäden werden in weiten Bereichen durch überhöhte Zufuhr eutrophierender Stoffe (Überdüngung) oder durch Photooxidantien mitverursacht. Wildpflanzen werden dezimiert, so daß sie auf der "Roten Liste" der aussterbenden Arten erscheinen. Auch die Randmeere sind betroffen, deren explosionsartige Planktonblüten von der Eutrophierung aus der Luft zusätzlich angestoßen werden. Besonders gefährdet erscheinen Böden in den Tropen und Subtropen, da diese eine im allgemeinen deutlich geringere Toleranz gegenüber Veränderungen im Vergleich zu Böden der mittleren Breiten aufweisen.

- Dem Düngeeffekt für Nutzpflanzen stehen Schädigungen durch phytotoxische Stoffe gegenüber. Eine Bewertung dieser verschiedenen Einflüsse ist noch nicht abschließend möglich. Ähnliches gilt für die forstwirtschaftlich genutzten Wälder der gemäßigten Breiten.

- Der gezielte Einsatz von Chemikalien, nämlich Pestiziden, bei Nutzpflanzen ist von unerwünschten Nebenwirkungen begleitet: Die zunehmende Verbreitung von Pestiziden am Einsatzort und über den atmosphärischen Pfad weltweit gestattet es den Schädlingen, immer schneller Resistenzen zu entwickeln.

- Gesundheitsschäden durch Luftverschmutzung nehmen zu. In fast allen Ländern der Welt leiden Millionen von Menschen an Atemwegserkrankungen (z.B. Lungenschäden) und anderen Beeinträchtigungen wie Augenreizungen. Vermehrt werden erhöhte Anfälligkeiten gegenüber natürlichen Allergenen und Immunschwächen beobachtet. Eine so verminderte Lebensqualität, insbesondere in den städtischen Zentren, trägt zur Migration der Bevölkerung bei.

Klimarelevante Wirkungen der veränderten Chemie der Troposphäre sind gegeben durch:

- die steigenden Konzentration troposphärischen Ozons in den mittleren Breiten der Nordhemisphäre und den Wald- und Savannenzonen der Tropen und Subtropen während der Trockenzeit,

- die Freisetzung von CO_2, N_2O und CH_4 sowie großer Mengen an rußhaltigen Aerosolen. Veränderungen des Aerosols vermögen die Strahlungsbilanz durch Rückstreuung kurzwelliger Strahlung zu beeinträchtigen sowie indirekt durch die Beeinflussung der Wolkeneigenschaften. Im globalem Maßstab können sie einen erheblichen Beitrag zur Absorption lang- und kurzwelliger Strahlung in der Atmosphäre und zur Aerosolquellstärke liefern.

- den starken zusätzlichen Eintrag an Schwefelverbindungen, vor allem in Form von SO_2, was nach Umwandlung zu Schwefelsäure die Aerosolbildung erhöht. So wird die vorübergehende Abkühlung der Landgebiete der Nordhemisphäre zwischen 1940 und 1975 auf die Lufttrübung durch angestiegene SO_2-Emissionen zurückgeführt (Engardt und Rodhe, 1993). (siehe auch 1.2).

Verknüpfung zum globalen Wandel

Der Bereich "Veränderte Chemie der Troposphäre" ist sehr eng verknüpft mit einer Reihe der Hauptelemente globaler Umweltveränderungen: Die Chemie der Troposphäre ist von der Ausdünnung der stratosphärischen Ozonschicht betroffen. Sie beeinflußt über die klimarelevanten Spurengase die Klimaänderungen. Eine enge Verknüpfung besteht, weil die klimarelevanten Spurengase und die wichtigsten Träger der Luftverschmutzung ähnliche, oft identische Quellen haben. Kohlenwasserstoffe, NO_x, SO_2 und CO werden zusammen mit CO_2 emittiert. Eine veränderte Spurengaszusammensetzung wirkt stark auf die Böden und auf die Land- und Forstwirtschaft. Sie wird von der Urbanisierung gefördert. Der Verkehr und die zunehmenden Freizeitaktivitäten verstärken die Schadstoffemissionen. Ist der photochemische Smog mit erhöhter Lufttrübung verbunden (was in der unteren Troposphäre sicherlich der Fall ist), hat die erhöhte Rückstreuung von Sonnenstrahlen treibhausmindernde Wirkung.

Troposphärisches Ozon erhöht den Treibhauseffekt, insbesondere, wenn es im Bereich der Tropopause gebildet wird. Daher ist der von Flugzeugen verursachten Ozonzunahme besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

Zweifellos ist die veränderte Chemie der Troposphäre beteiligt an der Versauerung von Böden und neuartigen Waldschäden, den Ernteeinbußen bei hohen Ozongehalten und der Eutrophierung der Randmeere. Die Bedeutung der durch Industrialisierung, intensivierte Landwirtschaft und durch Vegetationsbrände weltweit verstärkten Düngung der Ökosysteme kann bisher nur erahnt werden. Sicherlich ist damit aber eine Bedrohung vieler Arten verbunden, die auf nährstoffarme Ökosysteme angewiesen sind. Ein Umweltproblem mit einer

Zeitskala von Tagen bis Wochen (Zeitraum zwischen Emission und Deposition) hat damit ein zweites mit einer sehr viel längeren Zeitskala von Jahrzehnten bis Jahrtausenden angestoßen.

Die Urbanisierung fördert über höhere Verkehrs- und Kraftwerksdichte die Bildung photochemischen Smogs. Dieser wiederum löst wegen der verminderten Lebensqualität in den Ballungszentren die Flucht an die Peripherie und in die Naherholungsgebiete und damit eine höhere Verkehrsdichte aus. Die Gesundheitsschäden von vielen Millionen Menschen, insbesondere in den Metropolen der Dritten Welt als Folge der Luftverschmutzung sind unübersehbar. Weil unmittelbar erlebt und erlitten, eignet sich die kontinentweite Luftverschmutzung besonders für eine beispielhafte Bewußtseinsänderung auch gegenüber anderen großräumigen Umweltproblemen. Daher bietet sich die Kopplung der Maßnahmen zur CO_2-Minderung mit denen zur Verbesserung der Luftqualität geradezu an.

Bewertung

Die Abluftfahnen vieler Ballungsgebiete haben sich zur Luftverschmutzung der gesamten Nordhalbkugel addiert. Was ursprünglich in Form lokaler Probleme die Umweltbewegung stimulierte, ist trotz einzelner regionaler Erfolge (z.B. in Westdeutschland) zu einem globalen Problem geworden. Weltweit sind neben Gesundheitsschäden bei Menschen verstärkte, langfristige Schäden in Land- und Forstwirtschaft, bei Böden und Gewässern sowie Flora und Fauna zu beobachten. Auch die Wirkung erhöhter Lufttrübung und troposphärischer Ozongehalte auf die Strahlungsbilanz der Atmosphäre muß in die Strategie zur Bekämpfung der Luftverschmutzung einbezogen werden, da sie globale Dimensionen haben.

Die Ziele sind damit offenkundig:

- Verbesserung der Qualität der Atemluft, zumindest auf von der WHO empfohle Werte.

- Reduktion des Säureeintrags sowie der ungewollten Düngung, damit die versauerten Böden und die eutrophierten Gewässer sich langsam regenerieren können.

- Verminderung des troposphärischen Ozongehaltes, um Beeinträchtigungen des Pflanzenwachstums, der menschlichen Gesundheit und Änderungen der Strahlungsbilanz zu verhindern.

Die wesentlichen Vorläufer für Ozon, Säure- und Nährstoffeinträge sind folgende Spurengase: flüchtige Kohlenwasserstoffe, NO_x, CO, SO_2 und NH_3. Handlungsbedarf besteht somit weltweit im industriellen Sektor (Raffinerien,

Kraftwerke), im Verkehrssektor, in den Privathaushalten sowie in der Landwirtschaft.

Da Maßnahmen zur Minderung von Luftschadstoffen an einer Vielzahl von Quellen ansetzen müssen, sind die einzusetzenden Instrumente außerordentlich vielfältig. Bisher herrschten lokale und regionale Problemlösungsansätze vor, die, aufgrund örtlicher Gegebenheiten, große Unterschiede aufweisen.

Der Beirat weist darauf hin, daß kontinentweite Koordination, die z.B. über den Rahmen der Europäischen Gemeinschaft hinausgehen muß, unumgänglich ist. Handlungsfelder sind beispielsweise der europäische Sommersmog und neuartige Waldschäden in Europa und Nordamerika. Erst eine solche Koordination erlaubt es, angestoßen durch wissenschaftliche Konsensbildung, einheitliche Handlungsinstrumente zu entwickeln. Dies wurde vom "Intergovernmental Panel on Climate Change" (IPCC) für den Bereich der Klimaänderungen erfolgreich gezeigt. Details der Umsetzung der Strategie sollen nicht Gegenstand dieser Art von Koordination sein.

Die notwendige Strategie sollte folgende Maßnahmen enthalten:

- Umsetzung des Verursacherprinzips,
- Verringerung des Stoffeinsatzes durch Wiederverwertung von Rückständen,
- Effizienzsteigerung bei der Nutzung von Energie, die aus fossilen Brennstoffen gewonnen wird. Damit wird gleichzeitig eine Reduktion der wichtigsten Schadstoffe erreicht. Der Beirat weist darauf hin, daß ein anderes Vorgehen, das die Minderung einzelner Schadstoffe betont, Risiken durch mögliche Schaffung neuer Probleme birgt.

Gewichtung

Der Teilbereich "Veränderte Chemie der Troposphäre (1.1.3)" verdient eine höherrangige Behandlung als dies in der bisherigen internationalen Diskussion um globale Umweltveränderungen zum Ausdruck gekommen ist. Denn aus lokalen Problemen mit typischerweise kurzen charakteristischen Zeitskalen (Stunden und Tage z.B. bei Deposition von Staub) ist eine kontinentweite Verschmutzung der Luft mit jahrzehntelangen Folgen für die Böden geworden.

Für die globalen Stoffkreisläufe des Schwefels, des Stickstoffs und vieler Spurenmetalle überwiegen bereits anthropogene Quellen. Da die Luftverschmutzung meist im Zusammenhang mit der Nutzung fossiler Brennstoffe auftritt, sollten die erforderlichen Maßnahmen mit solchen zur Reduktion der Emission von CO_2 verbunden werden. Letztere stellen, global betrachtet, das höherrangige Ziel dar.

Forschungsbedarf

Wie in anderen Teilbereichen dieses Gutachtens (siehe 1.2) sollte die Forschung Entscheidungs- und Auswahlkriterien für Strategien und deren Umsetzung erarbeiten. Der Stand der Forschung sollte nicht zum Anlaß genommen werden, erforderliche Maßnahmen zu verschieben, auch wenn die Zusammenhänge nur teilweise bekannt sind. Waldschäden sind wahrscheinlich zum überwiegenden Teil von Luftverschmutzungen verursacht. Die intensive Forschung zu diesem Thema hat jedoch gezeigt, daß bei so komplexen Systemen rasches Verständnis nicht zu erzielen ist. Die gegenwärtige Situation ist gekennzeichnet durch Kenntnisse einzelner Aspekte ökologischer Zusammenhänge. Es ist daher das zentrale Ziel der Forschung, Techniken zu entwickeln, die bei gleicher oder verbesserter Effizienz weniger Emission an Luft und Wasser abgeben.

Ein weitergehendes Verständnis der Chemie der Troposphäre ist notwendig; dies wurde auch in der "AGENDA 21" (UNCED, 1992) formuliert. Folgende Fragen sind dringend zu beantworten:

- Wie beeinflußt die Ausdünnung der stratosphärischen Ozonschicht die Oxidationskapazität der Troposphäre ?
- Wie wirkt die veränderte Spurengaszusammensetzung in den stickoxidreichen Regionen der Troposphäre auf die Oxidationskapazität ?
- Was bedeutet eine steigende Aerosolkonzentration für die Chemie der Troposphäre und für den Strahlungshaushalt ?
- Welche Ökosysteme sind besonders empfindlich gegenüber Depositionen und photochemischem Smog ?
- Wie reagieren verschiedene Kulturpflanzen, die mit Nährstoffen aus den sauren Niederschlägen gedüngt und gleichzeitig durch photochemischen Smog belastet werden ?

1.2 Klimaänderungen

Kurzbeschreibung

Das Klima der Erde hat sich stets geändert und wird sich mit oder ohne Einfluß des Menschen auch weiterhin ändern. Durch Variation äußerer Parameter sowie durch die Wechselwirkungen zwischen Luft, Wasser, Eis, Böden, Erdkruste und Leben zeigt das Klima zum Teil kräftige Schwankungen auf allen Zeitskalen. Solche Schwankungen sind am einfachsten durch den allen Planetenatmosphären eigenen Treibhauseffekt in einer einzigen Maßzahl zu beschreiben: Für die Atmosphäre des Planeten Erde beträgt die Erwärmung der Erdoberfläche als Folge der Treibhausgase Wasserdampf, Kohlendioxid, Ozon, Distickstoffoxid und Methan etwa 30 °C. Ohne diese Gase und ihre Fähigkeit, die Wärmestrahlung der Oberfläche zum Teil zu absorbieren, betrüge die mittlere Oberflächentemperatur nur ca. -15 °C. Seit Beginn der Industrialisierung schaltet sich nun auch der Mensch verstärkt ein. Weil er die Konzentrationen des Kohlendioxids (CO_2), des Methans (CH_4) und des Distickstoffoxids (N_2O) kräftig und sich beschleunigend erhöht sowie die des Ozons (O_3) in der Stratosphäre mittlerer und hoher Breiten vermindert hat, ist er "Klimamacher" (Tabelle 2). Die in den Abschnitten 1.1.1, 1.1.2 und 1.1.3 beschriebenen Effekte haben alle einen Einfluß auf das Klima, dessen Veränderungen im folgenden aufgeführt werden.

Der bisherige und in Szenarien in die Zukunft projizierte vom Menschen verursachte Zuwachs der Treibhausgase erreicht bzw. überschreitet nicht nur den Eiszeit-/Warmzeit-Unterschied, sondern tritt gegenüber diesem um etwa den Faktor 100 beschleunigt auf. Die daraus resultierende Erwärmung erreicht nach Aussage der Klimamodelle schon zum Ende des nächsten Jahrhunderts im globalen Mittel etwa $3 \pm {}^{2}_{1}$ °C. Solche gegenüber globalen natürlichen Schwankungen *rapiden* Klimaänderungen verschieben wie erstere die Niederschlagsgürtel, lassen den Meeresspiegel ansteigen, führen zu einer nicht mehr angepaßten Vegetation, gefährden die menschliche Ernährung durch Verschiebung der Anbauzonen und provozieren neue Wetterextreme.

Die in Klimamodellen grober räumlicher Auflösung verborgenen Ungenauigkeiten sowie noch nicht beachtete Rückkopplungen werden die Aussagen zur mittleren Erwärmung noch weiter modifizieren und eine feinere Regionalisierung weiterhin erschweren. Die Grundaussagen werden aber wohl nicht mehr verändert werden. Deshalb haben im Juni 1992 in Rio de Janeiro 154 Nationen die Rahmenkonvention zum Schutz des Klimas gezeichnet, deren Ziel die *Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen* ist. Soll dieses Ziel ohne Verlust der Anpassungsfähigkeit der Vegetation, bei Erhaltung der Nahrungsmittelproduktion und bei nachhaltiger Wirtschaftsentwicklung erreicht werden, muß, wie schon von der Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" 1990 formuliert, die Emission von Kohlendioxid durch die Industrienationen bis zum Jahre 2050 um bis zu 80 %

reduziert werden. Selbst bei dieser drastischen Reduktion ist noch immer eine mittlere globale Erwärmung um bis zu 2°C in der zweiten Hälfte des nächsten Jahrhunderts (bei aus Vorsorgegründen hoch abgeschätzter Empfindlichkeit des Klimasystems) zu erwarten. Einen solchen rapiden Anstieg hat die Menschheit bisher noch nicht erlebt. Die erforderlichen tiefgreifenden Veränderungen der Industriegesellschaft und die Entwicklung der Entwicklungsländern sind nur dann ohne Rückschlag möglich, wenn heute begonnen wird, durch gemeinsame Forschung von Natur- und Geisteswissenschaften die erforderlichen Maßnahmenbündel intelligent zu gestalten, die Technologieentwicklung zur Energieeinsparung und zur Nutzung erneuerbarer Energieträger zu fördern und einen Bewußtseinswandel der Bevölkerung zu erreichen, der durch entsprechende Verhaltensänderung dieses langfristige globale Ziel befördert.

Ursachen

Das Klima an einem Ort der Erde ist die Statistik der Wettererscheinungen für einen bestimmten Zeitraum, der lang genug ist, um eine annähernd stabile Statistik zu erhalten, der aber auch kurz genug ist, um die Scharung der Ereignisse um den Mittelwert noch zu garantieren. Diese Statistik mit Mittelwerten und Abweichungen, sowie deren Eintrittswahrscheinlichkeit für Klimaparameter wie Wind, Temperatur, Niederschlag usw., die meist für einige Jahrzehnte gilt, ist Ausdruck der vielfältigen Wechselwirkungen zwischen den Komponenten des Klimasystems (Luft, Wasser, Eis, Boden, Gestein *und* Biosphäre). Veränderliche äußere Parameter wie die Sonnenstrahlung, aber auch die langfristigen inneren Wechselwirkungen, z.B. zwischen der trägen ozeanischen und der raschen atmosphärischen Zirkulation, garantieren ständige Klimaänderungen. Diese werden meist in der Maßzahl "Treibhauseffekt der Atmosphäre" ausgedrückt. Er stieg von etwa 25 °C vor 18.000 Jahren (während der intensivsten Vereisung der letzten 100.000 Jahre) auf etwa 30 °C in der gegenwärtigen Zwischeneiszeit (dem vor 10.000 Jahre begonnenen Holozän).

Der Treibhauseffekt wird wesentlich von der Differenz zwischen von der Erde absorbierter Sonnenstrahlung und von der Atmosphäre absorbierter Wärmestrahlung der Erdoberfläche bestimmt. Überwiegt die Absorption von Wärmestrahlung, der Normalfall für Planetenatmosphären, steigt die Oberflächentemperatur so lange an, bis gleichviel in den Weltraum abgestrahlt wie von der Sonne absorbiert wird. Die Temperaturerhöhung gegenüber einem atmosphärelosen Planeten wird in grober Analogie zur Wirkung des Glases eines Treibhauses Treibhauseffekt genannt.

Der physikalische Grund für die starke Absorption von Wärmestrahlung liegt in der Molekülstruktur der Gase in der Atmosphäre. Diese Gase sind in der Erdatmosphäre nur kleine Beimengungen, die fast alle von den Lebewesen stammen oder deren Konzentrationen von ihnen mitbestimmt werden. Damit

kann z.B. bei Erhöhung der Einstrahlung der Sonne ein Verstärkungseffekt durch die Lebenwesen auftreten: Nimmt die Bestrahlung der nördlichen Erdhälfte um wenige Prozent zu (dies geschieht etwa alle 10.000 Jahre), so werden Teile der hellen Schnee- und Eisflächen dunklem Grund weichen. Dadurch verstärkt sich die Absorption von Sonnenstrahlung, es wird wärmer, der entstehende Wasserdampf erhöht den Treibhauseffekt, die Landbiosphäre wird aktiver und das wiederum erhöht den Methangehalt durch verstärkten Abbau organischen Materials, und so weiter. Welche Prozesse solche Selbstverstärkungen bis hin zum "Supertreibhaus" mit kochendem Ozean oder einer völligen Eiswüste mit geringem Treibhauseffekt bisher verhindert haben, ist noch nicht geklärt. Intensiv diskutiert werden zur Zeit die bei hoher Oberflächentemperatur in den Tropen besonders lange als zusätzliche Reflektoren verweilenden Amboßwolken der Gewitter und die erhöhte Rückstreufähigkeit der Wolken über den Ozeanen, die durch vermehrte Schwefelsäure-Kondensationskeime als Folge erhöhter Dimethylsulfid-Emission der Meeresalgen entstehen.

Der Mensch hat im wesentlichen auf dreierlei Weise in dieses komplexe Geschehen eingegriffen: erstens durch Landnutzungsänderungen wie Rodung, Bewässerung, Ackerbau, Viehzucht und Siedlungsbau; zweitens durch Veränderung der Zusammensetzung der Atmosphäre als Folge der veränderten Biosphäre sowie der direkten Emission klimarelevanter Spurenstoffe; drittens durch Abwärme. Die Gewichtung der letzten beiden Eingriffe ist relativ einfach: Abwärme mit 0,02 Wm^{-2} Energieflußdichte im globalen Mittel ist verschwindend klein gegenüber der Störung der Strahlungsbilanz von ca. 2,5 Wm^{-2} durch die beobachtete Treibhausgaszunahme (siehe 1.1.1). Die veränderten Oberflächeneigenschaften haben je nach Ort und Aktivität unterschiedliche Vorzeichen bei den Änderungen der Energieflußdichte bewirkt. Helle, glatte, wenig verdunstende Flächen in ariden Gebieten werden bei Bewässerung durch dunklere und rauhere, stark verdunstende ersetzt. Andererseits weichen die dunklen, rauhen und stark verdunstenden Wälder bei Rodung den helleren, oft glatteren und weniger verdunstenden Weiden oder Äckern. Ob die Änderung der Energieflußdichten dabei im Mittel zur Kühlung oder zur Erwärmung an der Oberfläche beiträgt, ist noch nicht endgültig geklärt. Der absolute Wert sollte jedoch, wie entsprechende Abschätzungen zeigen, weit kleiner als die Störung der Strahlungsbilanz durch die zusätzlichen Spurenstoffe (überwiegend Spurengase) sein.

Der Einfluß des Menschen auf das globale Klima ist in dem auch natürlicherweise auf allen Zeitskalen schwankenden Klima nur sehr schwierig zu bestimmen. Folgende Einflußfaktoren auf die Klimaänderung können bereits weitgehend ausgeschlossen werden: Die beobachtete, vergleichsweise rasche mittlere Erwärmung seit 1880, die an der Erdoberfläche $0,5 \pm 0,2$ °C ausmacht (WMO/ UNEP, 1992), ist überwiegend nicht vom Vulkanismus verursacht. Die direkt gemessene Variabilität der Abstrahlung der Sonne während der

letzten 11-jährigen Aktivitätsperiode betrug etwas weniger als 0,1 % oder etwa 0,2 Wm^{-2}. Nur wenn trotz ähnlicher Aktivitätsparameter frühere Zyklen der Sonne diesen Wert weit überschritten hätten, könnte die Erwärmung zum Teil auf eine erhöhte Einstrahlung der Sonne zurückgehen. Es verbleiben als wichtige Faktoren die interne Variabilität des Klimasystems und der Einfluß des Menschen. Wir können weniger, aber auch mehr als die beobachtete Erwärmung verursacht haben.

Als weitere Argumente auf dem Wege zu einer Entwirrung der Einflußfaktoren stehen Befunde aus der Klimageschichte und Aussagen gekoppelter Ozean-Atmosphäre-Landoberfläche Modelle zur Verfügung. Erstere zeigen für die vergangenen 160.000 Jahre hohe Korrelation der CO_2- und CH_4-Konzentrationen mit der Temperatur. Untersuchungen an Eisbohrkernen und Sedimentbohrkernen aus der Tiefsee deuten an, daß die Temperatur sich jeweils vor den Treibhausgasen änderte, der Auslöser eine veränderte Verteilung der Sonnenstrahlung war, die Treibhausgase aber positiv rückkoppelten. Die gegenwärtige Situation ist anders: Die Treibhausgaskonzentration ist durch uns erhöht worden, die positive Rückkopplung auf die Temperatur ist allerdings dann auf den gleichen physikalischen Mechanismus zurückzuführen wie in der Klimageschichte.

Die Klima-Modelle berechnen bei der Zunahme der Treibhausgase, wie sie zwischen den Intensivphasen der Eiszeit und der Warmzeit stattgefunden hat, eine mittlere globale Erwärmung, die unter der tatsächlich für diesen Zeitraum festgestellten liegt. Welche zusätzlichen positiven Rückkopplungen in den Modellen noch fehlen und damals wichtig waren, ist nicht bekannt.

Auswirkungen

Die verschiedenen Vegetationszonen und damit die unterschiedlichen Kulturkreise der Erde werden von Temperatur und Niederschlag bestimmt, zumindest stark geprägt. Da die Erwärmung auf einem Planeten mit Ozean und Landoberflächen regional unterschiedlich sein muß und daher den Antrieb zur allgemeinen Zirkulation verändern wird, ist mit der von den Modellen vorhergesagten mittleren Temperaturerhöhung von $3 \pm {}^{2}_{1}$ °C bis Ende des nächsten Jahrhunderts bei fehlenden menschlichen Gegenmaßnahmen (z.B. unveränderte Nutzung fossiler Brennstoffe) eine Umverteilung von Niederschlagszonen sicher. Vegetationszonen und die produktiven Gebiete im Ozean werden sich entsprechend der Verschiebung der Klimazonen mitbewegen, ebenso wie die Anbauzonen für Nahrungsmittel verlegt werden müssen. Die regionalen Anomalien (Skalen unter etwa 1.500 km) sind mit Modellen wegen ihrer ungenügenden räumlichen Auflösung bisher nicht vorhersagbar. In einem Zeitraum von nur einem Jahrhundert für derart massive Temperaturänderungen wird bei einer Umwälzzeit des Weltozeans von mehreren Jahrhunderten kein stabiles Muster erreicht werden. Eine ganz grobe Regionalisierung ist allerdings konsistent in den wenigen für die nächsten 100 Jahre gerechneten Szenarien bei

unverändertem Verhalten der Menschheit erkennbar: Regionen mit kräftiger Durchmischung des oberen Ozeans im Bereich der wandernden winterlichen Tiefdruckgebiete mittlerer Breiten (bei Island, den Aleuten und um die Antarktis) weisen eine stark verzögerte Erwärmung auf, weil in ihnen der durch den erhöhten Treibhauseffekt verstärkte Energiefluß in den Ozean auf eine mächtige Schicht verteilt wird. Daher steigt auch der Temperaturgradient vom Äquator bis in höhere mittlere Breiten über den Ozeanen in dieser Übergangsphase an. Das führt dort nach den Modellen zu einer verstärkten Westwinddrift und einer erhöhten Zahl intensiver Tiefdruckgebiete, wodurch die Niederschläge in hohen Breiten erhöht werden. Aber auch die innertropischen Niederschlagsbänder verstärken sich.

Die Verzögerung der Erwärmung an der Erdoberfläche aufgrund der hohen Wärmekapazität und langsamen Durchmischung des Ozeanswassers verhindert dabei die jeweils volle Ausprägung der Klimaänderung durch die schon in die Atmosphäre gelangten Spurengase. Bei der gegenwärtigen Zuwachsrate von 2 bis 2,5 % pro Jahr liegt die Verzögerung bei einigen Jahrzehnten. In den Messungen von Temperatur, Niederschlag und Wind ist also gleichsam nur die Reaktion auf etwa die Hälfte der Störung vor 30 bis 40 Jahren realisiert. Diese Tatsache macht Klimamodelle zu einem äußerst wichtigen Werkzeug und verdeutlicht zugleich das Dilemma der Klimatologen, die nie aus Zeitreihen der Klimaparameter die volle Wirkung einer gleichzeitig gemessenen (anthropogenen) Treibhausgaszunahme erkennen können.

Der Meeresspiegelanstieg bei globaler Erwärmung ist weiter verzögert, weil drei der vier wichtigsten dazu potentiell beitragenden Prozesse verzögert erst nach Eintritt der Erwärmung anlaufen. Die Wärmeausdehnung des Ozeanwassers (+60 cm bei +1 °C Temperaturzunahme der ganzen Wassersäule), das Abschmelzen der Inlandeisgebiete und das Auftauen der Permafrostböden sind um weitere Jahrzehnte bis Jahrhunderte verzögert, während die kleineren Gebirgsgletscher (zusammen mit den größeren nur ein Potential für 50 cm Meeresspiegelanstieg) zum überwiegenden Teil schon vor der Erwärmung durch die erhöhte Gegenstrahlung zu schmelzen beginnen.

Die Schätzungen des Meeresspiegelanstiegs durch das IPCC (IPCC, 1991) lauten für das Szenario "Business as Usual" 65 ± 35 cm im Jahre 2100, überwiegend verursacht von der Wärmeausdehnung des Ozeanwassers und dem Abschmelzen der Gebirgsgletscher, leicht gebremst durch den Zuwachs der Antarktis und schwach erhöht durch geringe Schrumpfung des grönländischen Eisschildes. Dieser, gemessen am Potential von über 70 m bei vollständigem Abschmelzen der Kryosphäre, geringe Anstieg hätte trotzdem weitreichende Folgen: Verlust fruchtbarer Marschniederungen, zerstörte Hafenanlagen, überschwemmte Küstenstädte, völliger oder teilweiser Untergang einzelner Inselstaaten. Diese Auswirkungen werden besonders dort auftreten, wo gleichzeitig die Häufigkeit und die Höhe der Sturmfluten zunimmt.

Weiterhin ist zu beachten, daß sich bei verlagerten Meeresströmungen sowie unterschiedlich starker und tiefer Erwärmung des Ozeans der Meeresspiegel regional verschieden stark ändert (Maier-Reimer, 1992). Fehlender Anstieg wie auch eine Verdopplung der Anstiegsrate sind gleichermaßen möglich, eine genaue regionale Zuordnung kann aber noch nicht erfolgen.

Andere anthropogene Klimaänderungen

Können andere globale Umweltveränderungen die durch Treibhausgaszunahme bedingte Klimaänderung dämpfen oder verstärken ? Zu diskutieren sind der Ozonabbau in der Stratosphäre (siehe 1.1.2), die veränderte Chemie der Troposphäre (siehe 1.1.3) einschließlich der dadurch modifizierten Wolken sowie schließlich veränderte Oberflächeneigenschaften der Erde.

Der *Ozonabbau in der Stratosphäre* ist stark breitenabhängig und zeigt einen ausgeprägten Jahresgang. Von fast unveränderter Konzentration in den inneren Tropen ausgehend wächst der Ozonverlust zu beiden Polen hin an. So sind beispielsweise am Ende des Jahrzehnts 1980-1990 auf der geographischen Breite 60 °S von September bis November etwa 18 % weniger stratosphärisches Ozon gemessen worden als zu Beginn dieses Jahrzehnts. Diese Breitenabhängigkeit des Ozonschwunds macht den anthropogenen Anteil am Treibhauseffekt ebenfalls stärker breitenabhängig und zwar in der Weise, daß das Ungleichgewicht zwischen Einstrahlung und Abstrahlung am Rand der Atmosphäre - der eigentliche Antrieb zur allgemeinen Zirkulation - verschärft wird. In höheren geographischen Breiten tritt damit im jeweiligen Frühjahr ein stark geschwächter zusätzlicher Treibhauseffekt auf, dessen Folgen aber noch nicht in Klimamodellen abgeschätzt worden sind.

Die *veränderte Chemie der Troposphäre* hat mehrfachen Einfluß auf das Klima der Erde. Die Methankonzentration wird nicht nur von natürlichen und anthropogenen Quellen bestimmt, sondern auch von der Stärke der (photo-) chemischen Senke, die wiederum vom Ozonabbau in der Stratosphäre und dem Kohlenmonoxid-Gehalt in der Troposphäre abhängt. Wichtiger als dieser Prozeß, der in Klimamodellen in Form von CO_2-Äquivalenten berücksichtigt wird, ist die Verstärkung des Treibhauseffekts durch die *steigende troposphärische Ozonkonzentration*, deren zeitweise auftretenden Spitzenwerte als "photochemischer Smog" bezeichnet werden. Dadurch wird der Rückgang des anthropogenen Treibhauseffekts als Folge des stratosphärischen Ozonabbaus in Teilen der nördlichen Hemisphäre teilweise kompensiert. Da jedoch das Vertikalprofil des extrem klimarelevanten Gases Ozon, welches für die Temperaturstruktur der Atmosphäre entscheidend ist, sich insgesamt stark verändert hat, wird auch bei gleichbleibendem Gesamt-Ozongehalt eine Klimaänderung angestoßen. Da dreidimensionale globale Modelle der atmosphärischen Chemie noch fehlen, kann dieser sekundäre Anstoß zu Klimaänderungen bisher aber nicht detaillierter diskutiert werden.

Ein anthropogener Einfluß, der mit der Nutzung fossiler Energieträger sehr eng verbunden ist und den Treibhauseffekt schwächen könnte, muß hier trotz vieler Fragezeichen schon angesprochen werden, auch weil er zur überzogenen Hoffnung für die Skeptiker geworden zu sein scheint: die *erhöhte Lufttrübung* durch Bildung von Aerosolteilchen aus Spurengasen. In industrienahen Regionen, z.B. in ganz Mittel- und Osteuropa, werden lösliche Aerosolteilchen, die auch Kondensationskerne für die Wolkentröpfchen darstellen, aus Schwefeldioxid (SO_2), Stickoxiden ($NO_x = NO + NO_2$), Kohlenwasserstoffen und Ammoniak (NH_3) bei Sonnenschein in der unteren Atmosphäre gebildet. Diese erhöhen im wolkenlosen Teil der Atmosphäre die Rückstreuung von Sonnenstrahlung stärker als sie die Wärmeabstrahlung behindern, sie können den Planeten also kühlen (Grassl, 1988; Charlson et al. 1992). Durch fast immer auch vorhandene anthropogene Rußteilchen in der Abluft der Ballungsgebiete schrumpft der Effekt oder wird gar ins Gegenteil verkehrt, d.h. die Lufttrübung hat je nach Rußgehalt der Aerosole komplexe Wirkungen auf den Treibhauseffekt.

Bei erhöhter Kondensationskernzahl pro Volumeneinheit entstehen mehr Wolkentröpfchen bei gleichem Wassergehalt. Die anthropogen veränderten Wolken sind von oben betrachtet heller, sie reflektieren also das Sonnenlicht stärker. Sie behindern die Wärmeabstrahlung aber nicht stärker als die unbeeinflußten Wolken und dämpfen damit den Treibhauseffekt[2].

Insgesamt besteht kein Zweifel mehr (IPCC, 1991), daß die Folgen des von uns veränderten Strahlungshaushaltes tiefe Spuren in der menschlichen Gesellschaft und in der Natur hinterlassen werden, wenn nicht bald Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Vor allem durch neue Wetterextreme, die mit Klimaänderungen immer verbunden sind, wird es Betroffene und stark Betroffene, nicht aber Gewinner und Verlierer geben. Der Druck auf die naturnahen Ökosysteme wird das Artensterben weiter beschleunigen, die Verfügbarkeit von Wasser wird in vielen Regionen ein zentrales Thema werden, und die zu erwartende Flucht der Bevölkerung aus den stark betroffenen Gebieten wird die reicheren Nationen vor weit größere als die bisher bekannten Probleme stellen.

[2]Zu den offenen Fragen bei Ozonabnahme und Trübungszunahme findet unmittelbar nach Redaktionsschluß für diesen Bericht im Mai 1993 eine Sitzung einer Expertengruppe unter Leitung der Arbeitsgruppe "Wissenschaftliche Bewertung" des Intergovernmental Panel on Climate Change am Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg statt. Unter dem Titel "Ozonänderung und Aerosole" soll für den nächsten Sachstandsbericht für die Vereinten Nationen dieser Teilaspekt so weit wie möglich geklärt werden.

Verknüpfung zum globalen Wandel

Durch direkte Verbindungen globaler Umweltveränderungen mit der wichtigsten Energiequelle der Industriegesellschaft, dem fossilen Kohlenstoff, werden die Verknüpfungen zu allen Schutzgütern schier unübersehbar. Einen ersten Einblick in diese Komplexität liefert die Tabelle 5 der Rückkopplungen im Wasser- und Kohlenstoffkreislauf, die den anthropogenen Treibhauseffekt dämpfen oder verstärken können. Lediglich von zwei der zwölf genannten Rückkopplungen sind mehr als das Vorzeichen bekannt. Die positive Eis-Albedo-Temperatur-Rückkopplung und der stark mit der Temperatur ansteigende, also positiv rückkoppelnde Wasserdampfgehalt waren schon immer Bestandteil der dreidimensionalen Zirkulationsmodelle. Sie werden schon innerhalb von Jahren, bei Wasserdampf gar Wochen wirksam. Da beide Rückkopplungen positiv, also effektverstärkend sind, bewirken sie einen großen Teil der treibhausgasbedingten Erwärmung. In Empfindlichkeitsstudien wurde gezeigt, daß die 1,2 °C betragende globale Erwärmung an der Erdoberfläche (bei Verdopplung des CO_2-Gehalts) mit beiden Rückkopplungen auf Werte zwischen 2 und 2,5 °C steigt.

Die mit dem Kohlenstoffkreislauf verbundenen Rückkopplungen wirken auf den Antrieb direkt zurück, sie können, falls rasch ansprechend, auch schon im kommenden Jahrhundert gravierend werden. Zu diesen zählen die Rückkopplungen Nr. 5 und 10 mit unterschiedlichem Vorzeichen. Erstere verknüpft die FCKW mit dem globalen Kohlenstoffkreislauf, indem sie den Ozongehalt mit der Aktivität des marinen Phytoplanktons und dem des Süßwassers sowie mit der Nahrungserzeugung verbindet. Sie hat das Potential für eine tiefgreifende globale Krise. Die Rückkopplung Nr. 10, oft CO_2-Düngeeffekt genannt, ist wahrscheinlich in der Übergangszeit zu wärmeren Bedingungen besonders bedeutend, weil dann Effekte der Erwärmung noch nicht voll gegensteuern können. Beide Rückkopplungen sind in Einzeluntersuchungen bestätigt worden (Smith et al., 1993; WMO/UNEP, 1991).

Besonders komplex ist die Rückkopplung mit der Bewölkung. Die Kopplungen 3, 4, 6 und 12 sind zusätzlich alle miteinander verquickt. Sie leisten den Hauptbeitrag zur noch immer vorhandenen großen Unsicherheitsspanne für die mittlere globale Erwärmung ($2{,}5 \pm {}^{2}_{1}$ °C bei CO_2-Verdopplung). Wir können z.B. wegen unzureichender Kenntnis über die Temperaturabhängigkeit des Eisgehaltes in Eiswolken (Rückkopplung Nr. 6) und die veränderte mittlere Höhe der Wolken zur Zeit keine physikalisch genaueren Parameterisierungen in die Klimamodelle einbringen.

Die mit den Aerosolteilchen und ihrer Wirkung auf Wolken verknüpften Rückkopplungen Nr. 3 und 4 sind beide potentiell mächtig, aber negativ, also dämpfend. Allerdings sind sie, weil von kurzlebigen Gasen getragen, an die aktuelle Stärke der Verschmutzung gebunden und zeigen keine Akkumulation, anders als bei CO_2 und N_2O. Die dämpfende Wirkung war zu Beginn der

anthropogenen Verschmutzung stärker als heute. Ihre Bedeutung für den Strahlungshaushalt ist bisher nur grob abgeschätzt, die Nettowirkung schrumpft mit dem häufig gleichzeitig anwachsenden Rußgehalt der Luft.

Langfristig, in Jahrzehnten oder Jahrhunderten, können die Rückkopplungen des Kohlenstoffgehaltes der Böden sehr wichtig werden, denn nur 3 ‰ des in Böden gespeicherten Kohlenstoffs (ca. 3 Mrd. Tonnen C) kommen schon fast dem jährlich in der Atmosphäre verbleibenden Kohlenstoff aus der Verbrennung fossiler Energieträger gleich. Rückkopplung Nr. 7 öffnet den in Permafrostböden festgelegten Kohlenstoffspeicher beim Auftauen, Rückkopplung Nr. 8 erhöht den Abbau organischen Materials bei Erwärmung und gleichbleibender oder abnehmender Bodenfeuchte; bei zunehmender Bodenfeuchte kann das Vorzeichen wechseln.

Besonders langfristig wirkt Rückkopplung Nr. 11, denn die Umwälzzeiten der Inlandeisschilde sind von einer Größenordnung um 10.000 Jahre. Da die maximale Akkumulation von Schnee bei etwas höheren Temperaturen als der gegenwärtigen Mitteltemperatur der inneren Antarktis liegt, dürfte dieses Eisschild bei Erwärmung anwachsen und den *Meeresspiegelanstieg* durch Abschmelzung anderer Eisgebiete sowie die Meerwasserausdehnung langfristig *dämpfen*. Für das 21. Jahrhundert wird bei einem geschätzten Anstieg von 6 mm pro Jahr die Dämpfung mit 2 mm pro Jahr angenommen (WMO/UNEP, 1990).

Die Verknüpfungen der Klimaänderungen mit dem Wirtschaften der Menschheit sowie ihrer Reaktionen auf die resultierenden Gefahren sind mindestens so vielfältig und so wenig überschaubar wie die Rückkopplungen der Natursphäre mit diesen Klimaänderungen. So könnte ein genereller Tropenholzboykott durch Industrienationen den Treibhauseffekt ebenso verstärken wie freierer Welthandel bei weiterhin niedrigen Energiepreisen, denn im ersten Fall wird der tropische Regenwald kurzsichtig betrachtet weniger wert und daher vielleicht weniger erhaltenswert, und im zweiten Fall würde französischer Joghurt nach Singapur transportiert und im Winter würden mehr neuseeländische Äpfel in Deutschland verzehrt. Beide Reaktionen erhöhen die CO_2-Emissionen. CO_2-Emissionsminderungen, sicher von vielen Menschen gewünscht, können, falls undurchdachte Beschlüsse gefällt werden, von einzelnen Gruppen ins Gegenteil verkehrt werden.

Wesentlich für die Maßnahmen zur Treibhausgasminderung und deren Umsetzung wird sein, wie das Bewußtsein der Bevölkerung auch gegenüber den langfristigen globalen Umweltänderungen geschärft wird. Trotz der titanischen Aufgabe muß nicht nur die Erfolgschance verdeutlicht werden, sondern auch die Lust, selbst mit anzupacken, erweckt werden.

Nr.	Rückkopplung	Vorzeichen	Kenntnisstand	Reichweite	Zeitskala der Reaktion	anstoßender u. reag. Kreislauf
1	Wasserdampf als Verstärker	++	bekannt	global	Wochen	C, W
2	Eis-Albedo-Temperatur Rückkopplung	+	bekannt	regional (NH+SH)	Jahre bis Jhdt.	C, W
3	stärker rückstreuende Atmosphäre durch Gas-Teilchen-Umwandlung	–	postuliert Teilbestätigung	regional (NH)	Wochen	C
4	anthropogen modifizierte Wolken streuen stärker zurück	--	postuliert Teilbestätigung	regional (NH)	Wochen	W
5	UV-B-Zunahme bremst Biomasse-bildung und CO_2-Aufnahme in Wald und Ozean	+	postuliert Teilbestätigung	regional (SH+NH)	Jahrzehnte	Cl, O (C)
6	mehr Eiswolken durch verstärkte Konvektion schirmen Oberfläche ab	+	postuliert Teilbestätigung	regional	Wochen	W
7	Permafrostschwund erhöht CO_2- und CH_4-Gehalt der Atmosphäre	+	postuliert Teilbestätigung	regional (NH)	Jahrhunderte	C
8	Erwärmung bei konstanter oder verminderter Bodenfeuchte erhöht CO_2-Gehalt der Atmosphäre	+	postuliert	global	Jahrzehnte	C
9	Ozonabbau in Stratosphäre bei erhöhtem N_2O- und CH_4-Gehalt verstärkt und breitenabhängiger	–	postuliert	regional	Jahrzehnte	O
10	CO_2-Düngung könnte C-Speicher Böden und Wald vergrößern	–	postuliert Teilbestätigung	regional	Jahrzehnte	C, O
11	Antarktis wächst bei Erwärmung	–	postuliert	global	Jahrzehnte bis Jahrhunderte	C, W

Tabelle 5 : Positive und negative Rückkopplungen vor allem des Wasser- und Kohlenstoffkreislaufs auf den anthropogenen Treibhauseffekt.
NH = Nordhemisphäre, SH = Südhemisphäre, C = Kohlenstoff, W = Wasser, O = Sauerstoff, Cl = Chlor

Drucksache 168/94

Bewertung

Erst die Diskussion um anthropogene Klimaänderungen hat auch diejenige über die generelle Abhängigkeit der menschlichen Gesellschaft von geringen Klimaänderungen belebt. Nachdem erstens vielfältige Hinweise auf eine angelaufene, signifikante, anthropogene Klimaänderung existieren, und zweitens eine wissenschaftliche Vorklärung unter Angabe einiger physikalischer Gründe (WMO/UNEP 1990, 1992; Deutscher Bundestag, 1990) stattgefunden, und drittens der größte Teil der Staatengemeinschaft eine Rahmenkonvention zum Schutz des Klimas der Erde bei der UNCED-Konferenz im Juni 1992 gezeichnet hat, ist das Ziel klar. Es wurde wie folgt formuliert (UNCED, 1992; Deutscher Bundestag, 1993):

> Das Endziel dieses Übereinkommens und aller damit zusammenhängenden Rechtsinstrumente, welche die Konferenz der Vertragsparteien beschließt, ist es, in Übereinstimmung mit den einschlägigen Bestimmungen des Übereinkommens die *Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen* (Hervorhebung durch WBGU) in der Atmosphäre auf einem Niveau zu erreichen, auf dem eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems verhindert wird. Ein solches Niveau soll innerhalb eines Zeitraums erreicht werden, der ausreicht, damit sich die Ökosysteme auf natürliche Weise der Klimaänderungen anpassen können, die Nahrungsmittelerzeugung nicht bedroht wird und die wirtschaftliche Entwicklung auf nachhaltige Weise fortgeführt werden kann.

Ähnlich war es schon im 3. Bericht der Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" des 11. Deutschen Bundestages vom Oktober 1990 formuliert worden.

Die Stabilisierung der Treibhausgas*konzentrationen* ist ein hochgestecktes Ziel, das in Abhängigkeit von der Lebensdauer eines Gases teilweise drastische Reduktionen der Emissionsraten erzwingt ! Möchte man gegenwärtige Konzentrationen halten, wäre eine sofortige Senkung der globalen Emissionen um mindestens 60 % für CO_2, sogar 80 % für N_2O und etwa 20 % für CH_4 notwendig. Also ist die in der Konvention hergestellte Verklammerung des Hauptzieles "Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen" mit den drei genannten Nebenbedingungen sorgfältig zu interpretieren. Notwendig ist die Festlegung der Maßnahmen und ein Zeitrahmen für ihre Erfüllung.

Damit ist erneut eine wissenschaftliche Diskussion eröffnet. Was bedeutet "Erhalt der natürlichen Anpassungsfähigkeit an Klimaänderungen" ? Sind es die oft genannten 0,1 °C mittlere globale Erwärmung pro Dekade, an welche sich Ökosysteme anpassen können (dieser Wert wird im Szenario "Business as Usual" mit 0,3 °C pro Dekade weit überschritten) oder ist es ein noch niedrigerer Wert ? Was heißt "nicht bedrohte Nahrungsmittelerzeugung" in einer Welt, die trotz weltumspannenden Handels schon jetzt in den semiariden

Tropen den Hungertod nicht verhindern kann ? Wie soll die nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung aussehen, wenn die bisherige Art des Wirtschaftens die globalen Umweltveränderungen geschaffen hat ?

Die zentrale Handlungsanweisung kann trotz solcher noch zu klärender Fragen dennoch gegeben werden: Forschungsbedarf darf Handlungsbedarf nicht verlagern oder verzögern. Die Hauptverursacher der gestörten Zusammensetzung der Atmosphäre, d.h. alle Industrieländer, die meisten Ölförderländer sowie einige Tropenwaldländer mit hohen Pro Kopf-Emissionen der Treibhausgase, haben diese rasch zu vermindern. Die Industrienationen müssen dazu unter der Devise "Weniger Emissionen und Rohstoffverbrauch pro Kopf und dabei Annäherung an natürliche Kreisläufe" eine beispiellose Effizienzsteigerung bei der Nutzung der fossilen Energieträger und sonstiger Ressourcen starten. Sie müssen beginnen, die Energieerzeugung aus nicht erneuerbaren Trägern einzuschränken und durch langfristig und systematisch geförderte Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen ersetzen. Die sich entwickelnden Länder übernehmen diese neueren, sparsameren, weniger umweltbelastenden Techniken angepaßt an ihre Gegebenheiten, wobei die wirtschaftlich schwächeren von ihnen gestützt werden aus der von den Vereinten Nationen verwalteten und von den Industrieländern gespeisten "Global Environmental Facility" (GEF), bzw. aus neuen, noch zu schaffenden Mechanismen des Technologie- und Finanztransfers.

Nach gegenwärtigem Wissensstand ist eine mittlere globale Erwärmung um 2 °C über den Wert vor der Industrialisierung wegen der schon bestehenden und sich zunächst noch weiter erhöhenden Störung unabwendbar. Die Zielsetzung der Klimakonvention bedeutet für die Industrieländer daher langfristig den Abschied von den fossilen Brennstoffen als wichtigste Energiequelle. Im Jahre 2050 dürfen nach vorliegenden Erkenntnissen in einer Welt mit etwa 10 Mrd. Menschen in den Industrieländern nur noch 20 % der heutigen Menge fossiler Brennstoffe genutzt werden (Deutscher Bundestag, 1990). Als Voraussetzung dafür muß das Etappenziel "30 % Reduktion der CO_2-Emission" bis zum Jahre 2005, wie vom Deutschen Bundestag im November 1990 verabschiedet, erreicht werden, möglichst von allen OECD-Ländern, nicht nur von Deutschland.

Gewichtung

Die anthropogenen Klimaänderungen haben das Ausmaß der natürlichen erreicht und werden es nach Meinung der meisten Klimatologen bald überschreiten. Vor allem durch die rasche Änderung wird die menschliche Gesellschaft insgesamt gefährdet sowie die Natursphäre weiter belastet. Die Folgen des zusätzlichen Treibhauseffektes kommen den beiden anderen großen globalen Problemen gleich, der Ausrottung der Arten (die von der Klimaänderung beschleunigt wird) und der bisher fast ungebremsten Zunahme der Weltbevölkerung. Letztere kann in Zukunft die möglichen Erfolge der

bisherigen Hauptverursacher, der Industrieländer, bei der Emissionsminderung wieder zunichte machen. Da die hohen Materialflüsse bei fast allen Rohstoffen an die rasche Ausbeutung der fossilen Energieträger gekoppelt sind, bekommt die CO_2-Emissionsminderung aber auch eine weit über die Treibhausgasminderung hinausgehende Bedeutung. Sie bringt viele Erfolge gleichzeitig (Synergieeffekte), die sonst in schwierigen Maßnahmen gesondert erstritten werden müßten.

Forschungsbedarf

Die Fragen, welche die Lösungsansätze zur Abschwächung der drohenden raschen Klimaänderungen aufwerfen, können mit der bisherigen Art der Forschung in den Natur- und Gesellschaftswissenschaften getrennt nur schwer oder teilweise gar nicht beantwortet werden. In Anbetracht der bereits eingetretenen Störung sowie der Langfristigkeit der Veränderungen ist stets die Abwehr weiterer nachteiliger Veränderungen und die Anpassung an schon eingetretene Veränderungen erforderlich. Notwendig ist ein umfassender Optimierungsprozeß unter Einbeziehung aller wissenschaftlichen Disziplinen.

Dies heißt z.B.:

- Ermittlung der Klimaschadensfunktionen, also Klärung, was unterlassene Maßnahmen kosten.

- Bestimmung der gegenüber Klimaänderungen besonders empfindlichen Regionen und sozialen Gruppen.

- Entwicklung weniger umweltschädigender Technologien und Förderungsmaßnahmen, damit veraltete Technologien rasch ersetzt werden können.

- Wirtschaftswissenschaftliche Modellbildung unter Einbeziehung externer Kosten bis hin zum Flächenverbrauch im Rohstofflieferland.

- Schärfung unseres Bewußtseins für die wirklichen Risiken der Klimaänderung und Entwurf von Optionen für ein geändertes Verhalten auf allen Ebenen.

Es gibt weitere offene Fragen, die allein von kleineren Disziplingruppen beantwortet werden können. Nur ein naturwissenschaftlich und gesellschaftswissenschaftlich gut begründeter Optimierungsprozeß erlaubt besser untermauerte politische Entscheidungen im Sinne der Vorsorge. Einige solcher naturwissenschaftlichen Fragen sind:

- Welche naturnahen Ökosysteme werden bei Klimaänderungen und erhöhtem CO_2-Gehalt der Luft zu größeren Kohlenstoffspeichern ?

- Bei welcher Störung der Strahlungsbilanz wird das stark verzögerte Abschmelzen der großen Eisschilde ausgelöst ?

- Wie sollte die Landwirtschaft zur Ernährung der wachsenden Weltbevölkerung aussehen, wenn die Störung der Atmosphäre und der Böden möglichst klein bleiben soll ?

Einige der von den Gesellschaftswissenschaften zu klärenden Fragen sind:

- Inwieweit ist das Verhalten verschiedener Gruppen und Kulturen bei veränderten Lebensumständen vorhersehbar ?

- Wann und unter welchen Bedingungen sind die Zertifikatslösungen der Besteuerung der Ressourcen vorzuziehen ?

- Wie sollte die Produktions- und Recyclingtechnik aussehen, damit die Störung der Atmosphäre möglichst gering bleibt ?

1.3 Wasser

Wasser ist die größte und lebenswichtigste regenerierbare Ressource der Erde. Als Folge der besonderen Temperaturverteilung auf unserem Planeten tritt Wasser in allen drei Aggregatszuständen (flüssiges Wasser, Wasserdampf, Eis) auf. Die Auswirkungen globaler Umweltveränderungen sind im Ozean und im Süßwasser sehr verschieden. Beherrschende Themen im Unterkapitel "Ozean und Kryosphäre" sind der Meeresspiegelanstieg, Veränderungen der Zirkulation, Verschiebungen bei Fauna und Flora sowie das Schrumpfen der Meereisdecke und das Abschmelzen der Eiskappen. Die Kryosphäre wird aufgrund der Problemstellung im Ozeanteil behandelt, obwohl die Inland-Eismassen aus Süßwasser bestehen. Im Unterkapitel "Süßwasser" stehen die Knappheit und Verschmutzung mit ihren Verknüpfungen zu zahlreichen anderen Elementen der Natur- und Anthroposphäre im Zentrum der Betrachtung.

1.3.1 Veränderungen des Ozeans und der Kryosphäre

Kurzbeschreibung

Der Ozean bedeckt 71 % der Erdoberfläche. Er zeigt sehr komplizierte Strömungsmuster. Er reagiert langsam mit dem Meeresboden, rascher mit der Atmosphäre, er ist Quelle für den Niederschlag auf den Kontinenten und Senke für Einträge vom Land. In ihm entstand wahrscheinlich das Leben. Während in der Atmosphäre die Zeitskalen kurz (Stunden oder Tage für ein Tiefdruckgebiet) und die räumlichen Skalen der Wirbel groß (10^3 km) sind, reagiert der gesamte Ozean auf die Atmosphäre relativ langsam (Jahrhunderte) und die ozeanischen Wirbel sind um eine Zehnerpotenz kleiner als die atmosphärischen und existieren Monate.

Die Meeresforschung ist relativ jung. Die physikalische und chemische Erforschung des Ozeans erhielt Mitte dieses Jahrhunderts einen starken Aufschwung durch die Einführung neuer Meßverfahren. Über das Leben im Meer sind die Kenntnisse jedoch immer noch lückenhaft, auch wenn die wirtschaftlich wichtigen Fische, Krebse, Tintenfische und Muscheln in ihrer Lebensweise gut erforscht sind. Das Verhalten des Menschen bei der Ausbeutung dieser "lebenden Ressourcen" ist bis heute noch das des Sammlers und Jägers. Es wird kaum eine über Fangregulierungen hinausgehende Bewirtschaftung betrieben, die etwa mit der langfristig erfolgreichen Nahrungsmittelproduktion in der Landwirtschaft vergleichbar ist.

Der Ozean ist nicht nur Nahrungsquelle für den Menschen, sondern auch einer der wichtigsten Verkehrswege und die Senke für einen großen Teil unserer Abfallstoffe. Er liefert Bodenschätze und in zunehmenden Maße Rohstoffe für die Pharmaindustrie.

Neben diesen primär materiellen Aspekten hat der Ozean in neuerer Zeit auch einen bedeutenden ideellen Wert erlangt, nämlich als Erholungsraum. Die Zahl der Menschen, die im und auf dem Wasser sowie an der Küste Erholung suchen, steigt ständig, und der marine Tourismus ist vielerorts einer der am schnellsten wachsenden Wirtschaftszweige.

Die Nähe zum Meer hat daher für viele Menschen aus den unterschiedlichsten Gründen, seien es wirtschaftliche oder ideelle, einen großen Wert: heute leben etwa 70 % der Weltbevölkerung innerhalb 200 km Abstand von der Küste und zwei Drittel aller Metropolen mit mehr als 2,5 Mio. Einwohnern liegen an der Küste. Zwischen 100 und 200 Mio. Menschen bewohnen Küstenabschnitte, die unterhalb des Niveaus Sturmfluten liegen.

Die Auswirkungen globaler Umweltveränderungen auf den Ozean werden viele Länder vor große Probleme stellen, einige Inselstaaten sind in ihrer Existenz bedroht. Aus den unterschiedlichen Funktionen, die der Ozean und insbesondere die Küstengewässer für die menschliche Gesellschaft haben, ergeben sich gravierende Interessenkonflikte nicht nur zwischen Nutzungs- und Schutzbestrebungen, sondern auch zwischen verschiedenen Nutzungsformen. Globale Umweltveränderungen werden diese Konflikte teils verlagern und teils akzentuieren.

Ursachen

Über die Veränderung der Zusammensetzung der Atmosphäre wirkt der Mensch auf das Weltmeer als Ganzes ein (siehe 1.1). Die indirekten Einflüsse des verstärkten Treibhauseffekts und der erhöhten UV-B Strahlung übertreffen sicherlich in der räumlichen Skala wie auch in der Bedeutung die direkten Eingriffe des Menschen, die zu kurz- und langfristigen Veränderungen im lokalen und regionalen Bereich führen. Dazu zählen

- die zunehmende Meeresverschmutzung durch Überdüngung und Einleitung industrieller und häuslicher Abwässer sowie die Verklappung festen Mülls (z.B. nuklearer Abfall),
- die Ausbeutung von ozeanischen Ressourcen, zum einen Rohstoffe wie Erdöl und -gas, Erze, Sand, Korallenkalke, zum anderen von biologischen Ressourcen wie Mangrovenwälder oder die Überfischung und zerstörerische Fischereimethoden,
- unkontrollierte Küstenbebauung und Landgewinnung.

Ein Beispiel für regionale/lokale Meeresverschmutzung, die alle Küstenregionen der Welt treffen kann, ist der Eintrag von Öl aus der Schiffahrt und Offshore Aktivitäten. Dabei machen die spektakulären Tankerunfälle mit etwa 20 % einen vergleichsweise geringen Anteil aus. Der überwiegende Teil des Öls

gerät beim Umladen und beim routinemäßigen Schiffsbetrieb ins Meer (Bookman, 1993).

Die wichtigsten, aufgrund der atmosphärischen Veränderungen erwarteten Folgen für den Ozean sind:

- Höhere Wassertemperaturen, besonders in der Deckschicht
- Anstieg des Meeresspiegels
- Veränderte Tiefenzirkulation, Verlagerung ozeanischer Fronten und Meeresströmungen
- Veränderungen der Beimengungen im Meerwasser durch veränderten Gasaustausch mit der Atmosphäre
- Veränderungen der marinen Biosphäre.

Als Kriterium für die Reihenfolge dieser genannten Punkte galt der Grad der Gewißheit bei der Vorhersage: nur über Wassertemperatur und Meeresspiegel stehen Zeitreihen von zeitlich und räumlich relativ hochauflösenden, direkten Messungen zur Verfügung (Jones, 1986), die den jeweiligen Anstieg in den vergangenen 100 Jahren belegen.

Erhöhte Wassertemperaturen sind Folge des erhöhten globalen Treibhauseffekts (siehe 1.1.1). Der Meeresspiegelanstieg, dessen Rate für die letzten 100 Jahre mit ca. 1,5 mm pro Jahr gemessen wurde, hat im wesentlichen zwei Ursachen: das verstärkte Abschmelzen von Gebirgsgletschern (Haeberli, 1992) und die Ausdehnung des Meerwassers bei Erwärmung. Bei einem ungebremsten Anstieg der atmosphärischen CO_2-Konzentration im Laufe der nächsten 100 Jahre wird der Meeresspiegelanstieg auf 48 cm geschätzt (Wigley, 1992); diese prognostizierte Rate ist mindestens dreimal so hoch wie die im letzten Jahrhundert gemessene.

Für die Verlagerungen von Meeresströmungen und die damit verbundenen Änderungen im Wärmetransport sind derartige Schätzungen noch nicht möglich. Gekoppelte Ozean/Atmosphären-Klimamodelle deuten regionale Veränderungen im Nordatlantik an. Dort wird die Tiefenwasserbildung vermindert, die einen zentralen Bestandteil der globalen Zirkulation darstellt. Störungen in diesem Teil des ozeanischen Systems sind Ursache für weltweite Veränderungen in der Zirkulation. Ähnliches gilt für die Bodenwasserbildung im Weddell Meer in der Antarktis. Modellrechnungen des Max-Planck-Instituts für Meteorologie in Hamburg sagen im Zusammenhang mit einer verringerten Tiefen- und Bodenwasserbildung auch eine Abschwächung des Golfstroms um ca. 20 % voraus (Mikolajewicz, 1990). Für die Küstenauftriebsgebiete wird dagegen eine Intensivierung des Auftriebs aufgrund verstärkter küstenparalleler Winde vermutet (Bakun, 1990). Diese könnten durch die stärkere Erwärmung der Landoberfläche entstehen, wodurch der Luftdruckgradient zwischen Land und Ozean anwächst und die Windgeschwindigkeit zunimmt.

Im Ozean ist etwa fünfzigmal soviel Kohlenstoff in Form von Karbonaten, Hydrogenkarbonaten, gelöstem organischen Kohlenstoff und Kohlendioxid (CO_2) gelöst wie in der Atmosphäre. Allein in der Deckschicht mit etwa 75 m Mächtigkeit ist schon soviel Kohlenstoff gespeichert wie in der gesamten Atmosphäre (Enquete Kommission, 1990). Berechtigterweise wurde daher die Frage gestellt, ob der Ozean das durch anthropogene Aktivitäten zusätzlich produzierte CO_2 aufnehmen könnte. Diese Frage ist nicht leicht zu beantworten. Durch die Aufnahme von CO_2 aus der Luft wird das Oberflächenwasser schwach angesäuert. Dadurch verschiebt sich im Seewasser das Mengenverhältnis leicht vom Karbonat über das Hydrogenkarbonat zu gelöstem CO_2. Folglich wird die Aufnahmekapazität für CO_2 etwas verringert. Diesem Effekt trägt der nach Roger Revelle benannte Faktor Rechnung, wonach eine Verdopplung des atmosphärischen CO_2-Gehalts die Konzentration an gelöstem Kohlenstoff im Oberflächenwasser nur um knapp 10 % erhöht. Der Abtransport des gelösten CO_2 aus dem Oberflächenwasser in die Tiefe erfolgt in Zeiträumen von 100 - 1.000 Jahren durch Diffusion und Durchmischung; biologische Prozesse und physikalische Absinkvorgänge (Tiefenwasserbildung) können ihn sehr beschleunigen.

Der Netto-Eintrag von CO_2 aus der Atmosphäre in das Meer wird heute auf 1,6 Gigatonnen Kohlenstoff pro Jahr geschätzt (Tans, 1990). Sehr kontrovers diskutiert wird dabei die Rolle des marinen Planktons, das in der sogenannten "Kohlenstoffpumpe" mit dem Absinken toter Organismen oder von Kotpillen Kohlenstoff in die Tiefen des Ozeans transportiert (Tans, 1990 ; Broecker, 1991; Longhurst, 1989; Sarmiento, 1991). Das Potential dieser Kohlenstoffpumpe reicht, auch bei stark gesteigerter Planktonproduktion, allerdings nicht aus, um die unausgeglichene Kohlenstoffbilanz zu erklären: In der Atmosphäre werden ca. 2 Gt Kohlenstoff pro Jahr weniger gemessen, als von der Menschheit freigesetzt werden. Hierfür kommen als Senke eher die borealen Wälder in Frage (siehe 1.5.1).

Der dramatische spätwinterliche Ozonabbau über der Antarktis lenkte jüngst die Aufmerksamkeit auf das Südpolarmeer eine stark exponierte Region für eine Schädigung biologischer Systeme durch erhöhte UV-B Strahlung. Felduntersuchungen ergaben eine Reduktion der Primärproduktion im Südfrühling um 6 bis 12 % beim Vergleich von Gebieten mit und ohne Ozonausdünnung (Smith, 1992). Antarktisches Phytoplankton weist im Vergleich mit tropischem Phytoplankton eine stark erniedrigte Resistenz gegenüber UV-B-Strahlung auf (Helbling, 1992). Noch steckt aber die Forschung zu den ökologischen Auswirkungen des Ozonlochs über der Antarktis in den Kinderschuhen, zu wenig ist dort über die physikalisch-chemischen Bedingungen der Atmosphäre im Frühjahr und die biologischen Reaktionen der oft endemischen Arten mit ihren Reparatur- und Schutzmechanismen bekannt (Karentz, 1991).

Globale Auswirkungen

Auswirkungen

Faßt man die genannten Punkte zusammen, lassen sich Wassertemperatur- und Meeresspiegelanstieg vergleichsweise gut vorhersagen. Ihnen wird deshalb in diesem Abschnitt die größte Aufmerksamkeit gewidmet, während die übrigen, weit weniger erforschten Veränderungen nur kurz angesprochen werden (siehe dazu: Forschungsbedarf).

Eine weitere *Erhöhung der Luft- und Wassertemperaturen* bedeutet eine Verstärkung bestimmter Streßfaktoren für diejenigen Arten und Lebensgemeinschaften, die bereits jetzt periodisch an der oberen Grenze ihrer Temperaturtoleranz leben, wie z.B. Korallen oder Artengemeinschaften im Gezeitenbereich der Watten. Es wird vermutet, daß Zunahme der Häufigkeit und Intensität von kurzfristigen Temperaturschwankungen wesentlich schädlicher für Korallen und damit für das gesamte Ökosystem "Korallenriff" sind, als ein allmählicher Anstieg der Durchschnittswerte (Salvat, 1992; Smith, 1992). Für große Teile der Bevölkerung in Küstenregionen sowie auf Inseln in tropischen Breiten hätte ein mögliches Absterben von Korallenriffen weitreichende Folgen, da diese für sie eine essentielle Grundlage darstellen (vor allem: Baugrund und -material, Nahrung, Tourismus).

Besondere Bedeutung hat die Veränderung der atmosphärischen Zirkulation über den Ozeanen bei erhöhter Oberflächentemperatur. Seit kurzem ist bekannt, daß ein direkter Zusammenhang zwischen der maximalen Intensität tropischer Wirbelstürme und der Differenz zwischen Oberflächen- und Tropopausentemperatur (ca. 110 °C im Gebiet der Wirbelstürme (Emanuel, 1988)) besteht. Bei Erwärmung der Wasseroberfläche durch den erhöhten Treibhauseffekt werden damit höchstwahrscheinlich

- die von Wirbelstürmen heimgesuchten Flächen ausgeweitet,
- die maximale Intensität der Stürme erhöht,
- deren Zugbahnen verändert.

Obwohl jüngst (Flohn und Kapala, 1992) die Intensivierung des Wasserkreislaufs in den Tropen während der vergangenen Jahrzehnte beschrieben wurde, d.h. eine überdurchschnittliche Erwärmung der mittleren Troposphäre (wie auch in den gekoppelten Ozean-Atmosphäre-Modellen vorhergesagt) auftritt, ist bezüglich der Zunahme der Stürme die Beweisführung, wie immer bei seltenen Ereignissen, schwierig. Noch ist umstritten, ob die Häufigkeit und Intensität von Stürmen über den Ozeanen in tropischen und gemäßigten Breiten generell zunimmt. Für den Nordatlantik konnte festgestellt werden, daß sich die Zahl der winterlichen Orkantiefs in den vergangenen 40 Jahren mehr als verdoppelt hat. Vor allem eine Zunahme der tropischen Wirbelstürme wäre für Natur und Menschen gleichermaßen verheerend. Einige Küstenbereiche können zusätzlich dadurch geschädigt werden, daß sie ihres natürlichen Schutzes, wie vorgelagerter Riffe (tropische Küsten), flacher Inseln (z.B. Südostküste der USA) oder Küstenwälder (Mangroven) beraubt werden (Titus, 1984).

Der *Meeresspiegelanstieg* wird erhebliche Auswirkungen auf alle Ökosysteme im Küstenbereich haben, da große Landflächen hinter flachen Küsten oder Deltagebiete durch Überflutungen verlorengehen können, z.B. in Bangladesch. Ein Verlust von Biotopen im Küstenbereich (Mangroven, Seegraswiesen, Salzmarschen) ist dann zu erwarten, wenn die natürliche Topographie oder anthropogene Veränderungen des Hinterlandes einen Rückzug, also die Verschiebung des jeweiligen Ökosystems landeinwärts nicht zulassen. Dieses ist auch in natürlichen Gebieten nicht möglich, wenn der Meeresspiegel so schnell ansteigt, daß die Artengemeinschaften das rückwärtige Gebiet nicht rechtzeitig besiedeln können.

Ein weiterer wichtiger Effekt kommt hinzu: ein Meeresspiegelanstieg verschiebt die Grenze zwischen Salz- und Süßwasser nicht nur an der Küste, sondern auch im Grundwasserbereich und in den Ästuaren (UNESCO, 1990) Besonders gefährdet sind dabei die Süßwasserlinsen von flachen Inseln und Atollen (Miller, 1988; Hulm, 1989). In einem solchen Fall wird eine Versalzung zur Beeinträchtigung oder gar Zerstörung der vom Süßwasser abhängigen Flora und Fauna führen.

Das *Meereis* spielt eine wichtige Rolle im Klimasystem und beeinflußt über seine Verteilung in den polaren Gebieten die atmosphärische und ozeanische Zirkulation in mehrfacher Weise. Aufgrund der hohen Albedo (Rückstrahlvermögen) und des guten Isolierungsvermögens modifiziert das Meereis die Strahlungsbilanz und den Austausch von Impuls, Wärme und Stoffen zwischen dem Ozean und der Atmosphäre. Beim Gefrieren sondert das Meereis salzhaltigeres und damit schwereres Wasser ab und treibt damit die Bildung von Tiefenwasser und die Durchmischung der Ozeane an. Die Ausdehnung der Meereisgebiete ist daher von eminenter Wichtigkeit für das Klimageschehen, hat aber keinen erheblichen Einfluß auf die Höhe des Meeresspiegels.

Eine veränderte *Zirkulation* der Ozeane kann die biologische Produktivität im Küstenbereich und somit für die Versorgung der Bevölkerung beeinträchtigen (UNESCO, 1990) oder aber, z.B. bei verstärktem Küstenauftrieb (Bakun, 1990), verbessern. Andere Auswirkungen, wie Veränderungen im Zeitpunkt der Planktonblüte, verschobene Nahrungsverteilung zwischen schwimmender und am Boden lebender Fauna (Townsend, 1988) oder Fluktuationen der Fischbestände (Southward, 1988) sind noch nicht ausreichend sicher mit einer veränderten Zirkulation des Ozeans zu verknüpfen (IGBP, 1990). Allgemein werden im Küstenbereich aber erhebliche Änderungen der Primärproduktion erwartet (Paasche, 1988).

Die Auswirkungen eines beschleunigten Meeresspiegelanstiegs *für die betroffenen Menschen* wurden exemplarisch für die Inseln im Südpazifik zusammengestellt (Hulm, 1989). Hier haben sich 36 Inselstaaten zur Alliance

of Small Island States (AOSIS) zusammengeschlossen, um den Forderungen nach Maßnahmen gegen die befürchtete Klimaänderung Nachdruck zu verleihen (siehe 2.2). Die meisten der bei Hulm genannten Punkte sind auf andere Inseln und Küstenländer der Welt übertragbar.

Der Meerespiegelanstieg hat Folgen für

- den *Lebensraum*: der verfügbare Lebensraum wird eingeschränkt oder, im schlimmsten Fall (kleine, flache Inseln), vollständig zerstört, und die Küstenbevölkerung wandert wenn möglich landeinwärts, wobei sich dort die Siedlungsdichte weiter erhöht,
- die *Lebensmittelproduktion*: marine (Korallenriffe, Seegraswiesen) und küstensäumende (Mangrovenwälder) sowie terrestrische Nahrungsquellen (Landwirtschaft, Trinkwasser) werden in ihrem Ertrag eingeschränkt oder gehen verloren,
- die *Wirtschaft*: verstärkter Küstenschutz oder, wo das nicht möglich ist, Verlagerung von Wohnsiedlungen, Industrie- oder Hafenanlagen, Verlust von Stränden oder anderen Küstenbereichen mit hohem Freizeitwert bedeuten erhebliche finanzielle Belastungen bzw. Einbußen für die betroffenen Länder,
- die *Gesellschaft/Kultur*: zur Migration gezwungene Menschen werden entwurzelt, die Gesellschaft wird wichtiger Kulturgüter beraubt.

Regionale / lokale Auswirkungen

Die Erwärmung des Meerwassers zeigt regional ähnliche Unterschiede wie die Erwärmung der oberflächennahen Luft (siehe 1.2). Es ist auch sicher, daß das absolute Meerwasservolumen zunimmt, aber ebenfalls mit regionaler Differenzierung: die Zunahme ist nicht an allen Küsten als Meeresspiegelanstieg spürbar. Einige Küstenregionen steigen durch die Entlastung nach dem Rückzug der glazialen Inlandeismassen und Gletscher auf (isostatische Ausgleichsbewegungen), so daß hier ein relatives Fallen des Meeresspiegels registriert wird. Davon sind z.B. Skandinavien und die kanadischen Küsten betroffen. Andere Regionen, wie die Niederlande, sinken dagegen ab. Lokal werden durch menschliche Eingriffe Küstenbereiche abgesenkt, z.B. in Venedig, Bangkok und in Deltabereichen des Mississippi und des Nil (Wells, 1987; Milliman, 1989). Diese Gebiete sind bei einem weiteren Meeresspiegelanstieg besonders gefährdet.

Mit der Gefährdung von Küstenregionen durch den Meeresspiegelanstieg befaßt sich die "Coastal Zone Management Subgroup" (CZMS, eine Arbeitsgruppe des IPCC). In ihrem Bericht "Global Climate Change and the Rising Challenge of the Sea" (1992) sind die Ergebnisse der bisher durchgeführten Fallstudien zur Gefährdungsabschätzung zusammengefaßt. Nach dieser Studie muß bei küstennahen Feuchtgebieten, von denen ca. ein Drittel große ökologische und ökonomische Bedeutung haben (Salzmarschen, Gezeitenzone,

Mangroven), an der südamerikanischen und der afrikanischen Atlantikküste, in Australien sowie Papua-Neu Guinea mit besonders hohen Verlusten gerechnet werden. Die am stärksten bedrohten Regionen hinsichtlich Überflutungen, die die Bewohner gefährden, sind nach diesen Studien kleine Inseln, die afrikanischen Mittelmeer- und Atlantikküsten und die Küste des indischen Subkontinentes.

Die direkten Eingriffe des Menschen in die ozeanischen Systeme können also insbesondere in den Küstenregionen schwerwiegende Folgen für die Bevölkerung haben. Hinzu kommt, daß die Auswirkungen der direkten Eingriffe und die klimabedingten Veränderungen sich gegenseitig beeinflussen und sich oft in ihren für die Bevölkerung negativen Folgen gegenseitig verstärken. Diese Entwicklung ist besonders für Länder in tropischen und subtropischen Breiten zu einem akuten Problem geworden (Fallstudien: Madagaskar, (Vasseur, 1988); Südost-Asien, (White, 1987)), da hier die natürlichen Ressourcen des Ozeans häufig die wichtigste Grundlage für die Ernährung der Bevölkerung darstellen. Die zunehmende Wasserverschmutzung sowie der Raubbau an der Natur, zum einen durch die Fischerei, zum anderen durch die Beeinträchtigung oder gar Zerstörung natürlicher Lebensräume, entzieht den Küstenbevölkerungen ihre Lebensgrundlagen. Dies betrifft im wesentlichen die Nahrungsgrundlage direkt, sowie zusätzlich die Nahrungsmittelproduktion für den Export und den Tourismus.

Im Zusammenhang mit der Meeresverschmutzung muß berücksichtigt werden, daß alle Arten der Abfalleinbringung (fest und flüssig) zwar eher lokal oder regional sind, sie können aber durch die teilweise recht effektive Verbreitung mit Meeresströmungen über die einzelnen Hoheitszonen hinaus schnell zu einem internationalen Problem werden. Ein typisches Beispiel ist die Verschmutzung und Überdüngung der Ostsee über Oder, Weichsel und Newa sowie aus der Luft - hiervon sind alle Ostseeanliegerstaaten unmittelbar betroffen. Ähnliches galt für die Ölteppiche im Persischen Golf. Kriege und die Atomwirtschaft haben - wie wir zum Teil erst jetzt erfahren - Altlasten in Form von Giftgas und Atommüll im Ozean hinterlassen und damit möglicherweise Probleme von überregionalem Ausmaß erzeugt.

Die meisten in diesem Abschnitt aufgeführten Probleme stellen sich derzeit noch eher lokal oder regional dar. Die Industrieländer stehen hier aber als Exporteure und als Hauptverursacher der globalen Klimaveränderung in der Pflicht. Sie sollten präventive Maßnahmen, wie Aufklärung und Ausbildung (siehe 2.4) stärker unterstützen, Technologietransfer bei Abwasserreinigung, Küstenschutz und nachhaltiger Nutzung der natürlichen Ressourcen (siehe 2.2) durchführen und direkte Hilfe im Katastrophenfall leisten.

Neben den Klimaveränderungen betreffen auch intensives Bevölkerungswachstum und die großen Wanderungsbewegungen die Küstenregionen in

besonderem Maße. Hier entstehen Ballungszentren mit großer Verkehrsdichte und hoher Abfallbelastung, und damit wachsender Zerstörung der natürlichen Lebensräume und ihrer Ressourcen.

Zeitliche Auswirkungen

Die Meerwassertemperatur und der Meeresspiegel verändern sich nur langsam. Die Auswirkungen an der Küste werden oft erst bei Sturmflutereignissen, dann aber plötzlich, als Katastrophen sichtbar. Wann dies für die einzelne Region der Fall ist, kann nicht hinreichend vorhergesagt werden, da weder die Vorhersagen der Klimaänderungen regionalisiert vorliegen, noch die Extremwertstatistik eine zeitliche Vorhersage erlaubt. Die im Vergleich zu anderen Naturkatastrophen extreme Zunahme der privat versicherten Sturmschäden (Münchener Rück, 1992) weist schon jetzt auf die Bedeutung klimatischer Veränderungen hin. Auch die Folgen der durch erhöhte CO_2-Aufnahme veränderten Zusammensetzung des Meerwassers und der verstärkten UV-B Strahlung können sich schon kurzfristig, sogar innerhalb weniger Jahre, bemerkbar machen.

In mehreren Modellrechnungen deutet sich an, daß das Zirkulationsmuster im Nordatlantik bereits durch relativ geringe Veränderungen im Süßwassereintrag (Schmelzwasser, Niederschlag) innerhalb weniger Jahrzehnte beträchtlich gestört werden kann (Stocker, 1991).

Bewertung / Handlungsbedarf

Ozeanische Prozesse sind in ihren Dimensionen zu groß, als daß sie durch den Menschen direkt steuerbar oder beeinflußbar wären. Sie reagieren aber auf den vom Menschen verursachten zusätzlichen Treibhauseffekt und den Ozonabbau in der Stratosphäre. Um vom Ozean ausgehende Belastungen der Natur und Anthroposphäre als Folge anthropogener Störungen in anderen Klimasystemkomponenten zu mindern, sind vor allem die Zunahme der Treibhausgase in der Troposphäre und der Ozonabbau in der Stratosphäre zu bremsen und letztlich zu stoppen.

Globale Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs sind zwar erst in Jahrzehnten zu erwarten, besonders stark gefährdete Regionen (flache Küsten und Inseln, Flußästuare) können aber bereits sehr viel früher bedroht sein. Die Coastal Zone Management Subgroup (CZMS) hat das Ziel, die Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs auf Bevölkerung, Wirtschaft, ökologische und soziale Werte sowie auf die landwirtschaftliche Produktion zu erfassen und zu bewerten. Damit allen Küstenländern, insbesondere den ärmeren, ermöglicht wird, eine solche Studie durchzuführen und die erforderlichen Maßnahmen zur Verringerung der Gefährdung einzuleiten, ist die Unterstützung der CZMS durch die Industrieländer mit Finanzmitteln, Technologie und Wissen erforderlich. Der Beirat empfiehlt, daß sich die Bundesrepublik Deutschland hier ähnlich wie die Niederlande aktiv engagiert.

Der küstennahe Bereich des Ozeans ist sicherlich eines der empfindlichsten, aber gleichzeitig auch das am stärksten mißbrauchte marine System. Die hier vorgenommenen direkten lokalen oder regionalen menschlichen Eingriffe, wie Bohrplattformen, Küstenbauwerke, Ansiedlungen, Einleitungen, Verklappung und Überfischung sind jedoch vom Menschen kontrollierbar und sollten daher kurzfristig auf ein von den Anrainerstaaten definiertes, erträgliches Maß beschränkt bzw. rückgängig gemacht werden. Dabei stellt sich das Problem, daß die vielfältigen, miteinander konkurrierenden Nutzungsinteressen im krassen Gegensatz zum verfügbaren Raum stehen. Es ist daher notwendig, ähnlich wie bei landgeographischen Konzepten, durch fachübergreifende Zusammenarbeit von Naturwissenschaftlern und Ökonomen Planungskonzepte zu erstellen, die eine nachhaltige Nutzung der marinen Ressourcen - und dazu ist auch der Tourismus zu zählen - bei zunehmender menschlicher Ansiedlung in den Küstenregionen gewährleisten. Hier bietet das Konzept des integrierten Küstenmanagements (ICM = Integrated Coastal Management) einen vielversprechenden Lösungsansatz. Die Umsetzung des ICM ist ein kontinuierlicher Prozeß. Er bedarf der direkten Einbindung aller betroffenen Gruppen aus Wirtschaft, Wissenschaft, Politik, Planung und Verwaltung, sowie der Öffentlichkeit. In dieser Hinsicht besteht in der Bundesrepublik Deutschland nach Auffassung des Beirats ein erhebliches Defizit. Die Nordsee und in noch stärkerem Maße die Ostsee bieten sich für ein international abgestimmtes Management geradezu an. Hier könnte Deutschland wichtige wissenschaftliche und politische Vorarbeiten leisten bzw. Erfahrungen einbringen.

Um Aktivitäten im offenen Ozean zu reglementieren, die überregionale, wenn nicht sogar globale und vor allen Dingen langfristige Auswirkungen haben, z.B. das Versenken von nuklearem Müll in der Tiefsee, sind Abkommen der Vereinten Nationen notwendig. Im Vergleich zu den schon relativ weit entwickelten Reglementierungen des Transports von Erdöl sowie der Bekämpfung und Haftung bei Tankerunfällen besteht hinsichtlich der Verbringung von gefährlichem Müll in den offenen Ozean noch erheblicher juristischer und politischer Handlungsbedarf.

Forschungsbedarf

Derzeit sollte sich unter dem Gesichtspunkt der globalen Umweltveränderungen die ozeanbezogene Forschung vor allem auf zwei Aufgabenbereichen konzentrieren:

- Erforschung, Überwachung und Prognose des Klimas im Ozean. Hierzu gehört auch das Verständnis der das Ozeanklima steuernden Prozesse.

- Erforschung der Wechselbeziehungen zwischen Mensch und Ozean. Hierzu müssen neue theoretische und empirische Ansätze gefunden

werden, welche die naturwissenschaftlichen mit den sozio-ökonomischen Aspekten des Wirkungsgeflechtes ganzheitlich verknüpfen.

Im Einzelnen ergeben sich aus den genannten Aufgabenbereichen folgende Schwerpunkte.

- Überwachung des Ozeanklimas und Erstellung von Zeitreihen, die in naher Zukunft eine längerfristige Vorhersage ermöglichen, die über die Wettervorhersage hinausgeht (geplantes Projekt: GOOS = Global Ocean Observing System). Die zeitlichen Begrenzungen der Vorhersage sind durch die Zeitskalen der steuernden physikalischen Prozesse vorgegeben.

- Erforschung der Polarmeere mit Schwerpunkt auf den Meereisgebieten. Diese sind von globaler Bedeutung: bereits kleine Temperaturänderungen können für das Abschmelzen von Meereis entscheidend sein, was große Folgen für die Strahlungsbilanz und den Wärmehaushalt der Erde haben wird.

- Abschätzung der Einflüsse von erhöhter UV-B-Strahlung und Temperaturerhöhung auf marine Organismen und Lebensgemeinschaften.

- Erforschung der Prozesse in der Tiefsee, die mit dem Kohlenstoffkreislauf zusammenhängen, sowie der Tiefen- und Bodenwasserbildung. Auch die biologische Variabilität sowie die ökologische Bedeutung des Tiefseeraumes muß weiter untersucht werden, vor allem im Hinblick auf die mögliche Endlagerung von gefährlichen Müll oder die Nutzung durch Meeresbergbau. In den Mikroorganismen am Meeresboden (Bakterien, Viren) wird, ähnlich wie in den Tropenwäldern, ein großes Potential für die pharmazeutische Industrie vermutet.

- Ozeanüberwachung und Tiefseeforschung stellen neue Anforderungen an die marine Meßtechnik und die Unterwasser-Robotik. Hier besteht ein ingenieurwissenschaftlicher Forschungsbedarf.

- Verbesserung der Kenntnisse über Küstenprozesse und der Wechselbeziehungen Land-Meer. Dies ist besonders wichtig in Rand- und Binnenmeeren sowie in den Tropen, da in diesen Regionen der größte Druck auf die Ökosysteme ausgeübt wird.

- Entwicklung neuer Konzepte zur nachhaltigen Nutzung von Ozeanressourcen und zum Küstenmanagement (*"Integrated Coastal Management"*). Diese sind auf die regional unterschiedlichen Bedürfnisse und Prioritäten abzustimmen. Der größte Forschungsbedarf hierzu liegt in den Tropen.

- Entwicklung von Biotechnologien, die in der Marikultur natürliche marine Ressourcen (Algen u.ä.) nutzen und mit Sonnenenergie betrieben werden können. Bei einer Weiterentwicklung der Marikultur hin zu einer benutzer- und umweltfreundlichen Technologie stellt sie ein bedeutendes Potential für Entwicklungsländer dar.

1.3.2 Qualitative und quantitative Veränderungen im Bereich Süßwasser

Kurzbeschreibung

Wasser ist unser wichtigstes Lebensmittel; zum Überleben braucht der Mensch täglich mindestens zwei Liter Flüssigkeit. Die Nutzung von Wasser ist auch wirtschaftlich von großer Bedeutung; eine qualitativ und quantitativ ausreichende Wasserversorgung ist Voraussetzung jeder nachhaltigen Entwicklung. Das Wasser hat zudem wesentlichen Anteil am Klimageschehen (hydrologischer Kreislauf, Energietransport im Wasserdampf, Eiskappen) und ist entscheidend beteiligt an Prozessen in Lithosphäre (Verwitterung von Gestein, Formung von Landschaften über Wassererosion, Frostsprengung) und Pedosphäre (Verlagerung von Stoffen im Profil, Humusbildung); es ist die Grundlage aller Lebensvorgänge auf der Erde (Bodenzustand, Pflanzendecke, Tierwelt). Diese Funktionen des Wassers als Lebensmittel, als ökonomische Ressource und als ökologisches Medium werden in einer weiteren, kulturellen Rolle reflektiert: Wasser war und ist in vielen Ländern ein wichtiges Kulturelement mit ausgeprägten mythologischen und religiösen Bezügen.

Beim Wasser stehen sich, deutlicher wohl als bei den anderen Umweltmedien, zwei verschiedene Sichtweisen bzw. Aufgaben gegenüber: Wasser als ökonomische Ressource, die effizient zu bewirtschaften ist und Wasser als kulturtragendes, öffentliches (gelegentlich gar heiliges) Gut. Diese Sichtweisen bzw. Aufgaben werden oft getrennt voneinander oder gar isoliert betrachtet, sind aber eng miteinander verknüpft. Beiden ist gemeinsam, daß Wasser mit einem Wert belegt wird, im einen Fall ausgedrückt durch ökonomische Wertschätzung ("Wasserpreis"), im anderen Fall durch kulturelle Wertschätzung ("Eigenwert des Wassers").

Gefahren für die Ressource Wasser und das Kulturgut Wasser entstehen durch eine Vielzahl von natürlichen und anthropogenen Faktoren. Sie äußern sich in grundlegenden, im Text näher beschriebenen Prozessen, als *Verknappung* und *Verschmutzung*, die häufig mit *Vergeudung* einhergehen. Diese Prozesse treten einzeln, aber auch gemeinsam auf, sind unterschiedlich stark ausgeprägt und bezüglich ihrer Ursachen, ihrer Auswirkungen und der adäquaten Gegenmaßnahmen unterschiedlich zu beurteilen. Sie beinhalten jeweils spezifische Probleme, die jedoch insgesamt als "Wassermangel", d.h. als Fehlen von Wasser in ausreichender Quantität und Qualität bezeichnet werden können, wobei Verschmutzung zur Verknappung beiträgt. Obwohl Wasserprobleme immer an einem konkreten Ort oder in einer bestimmten Region auftreten, also standortspezifisch sind, ist es angebracht, von globalen Wasserproblemen zu sprechen, zumal Häufigkeit, Ausmaß und Reichweite der lokalen und regionalen Probleme im Trend rasch zunehmen.

Unter dem Leitbild der nachhaltigen Entwicklung *("sustainable development")* kommt nach Auffassung des Beirates dem Wasser eine zentrale Rolle zu, da es Lebens- und Wirtschaftsgrundlage einer jeden menschlichen Gesellschaft ist, diese Grundlage aber zunehmend gefährdet erscheint.

Ressource Wasser

Die Wasservorräte der Erde bestehen zum größten Teil aus Salzwasser (97 %) und Eis (2 %); lediglich 1 % der Wasservorräte wird als Süßwasser im hydrologischen Kreislauf umgesetzt und ist potentiell dem menschlichen Gebrauch zugänglich. Das Volumen des in diesem Kreislauf bewegten Wassers wird auf rund 500.000 km^3 pro Jahr geschätzt (siehe Kasten: Der hydrologische Kreislauf).

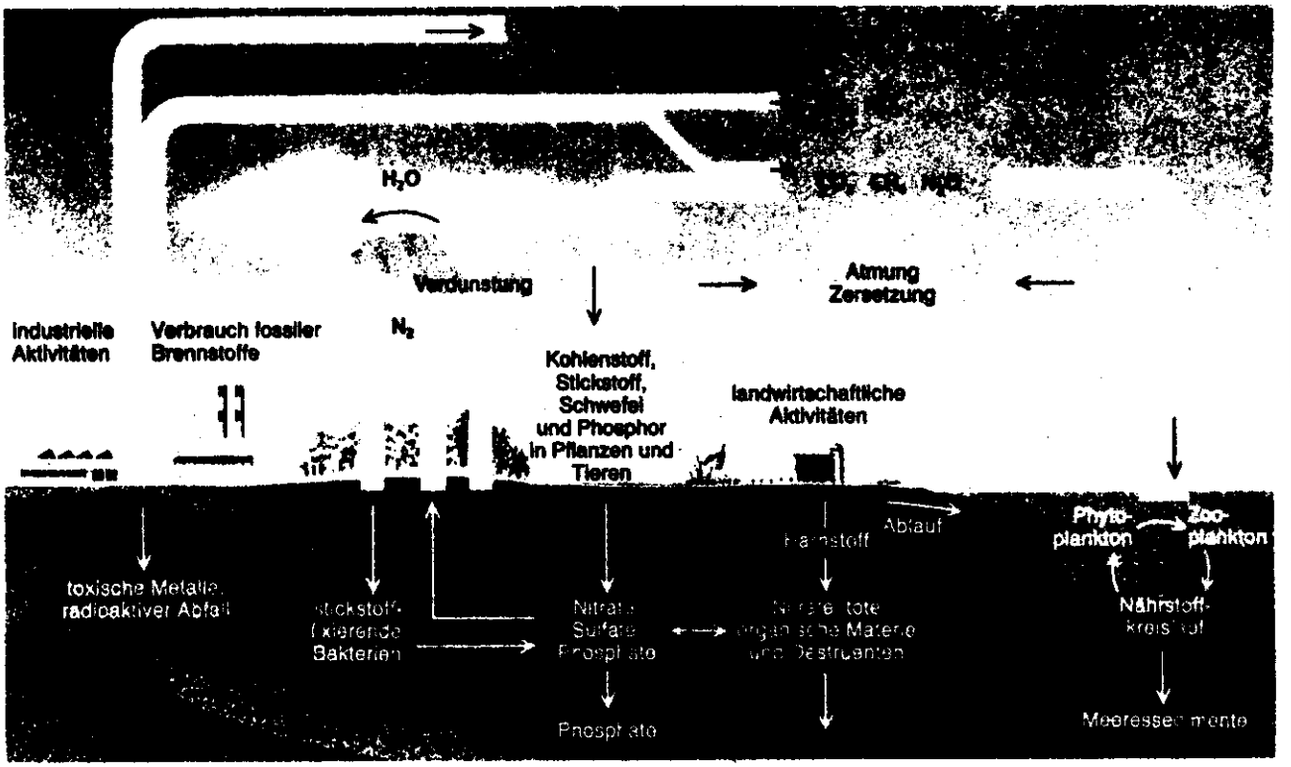
Besonders wichtig für die Wasserversorgung der Menschen sind die Einzugsgebiete der Flüsse, wobei regional sehr verschiedene Anteile von Grund- und Oberflächenwasser genutzt werden. Etwa die Hälfte dieser Flußeinzugsgebiete (darunter etwa 175 der 200 größten) sind auf das Territorium jeweils mehrerer Staaten verteilt. Der jährliche Durchfluß durch die Flußeinzugsgebiete der Erde wird auf rund 40.000 km^3 geschätzt, von denen rund 3.200 km^3 von Haushalten, Landwirtschaft und Industrie genutzt werden. Die Anteile, die diese drei Wassernutzungen am Gesamtverbrauch haben, sind regional sehr unterschiedlich, wie auch die jeweilige absolut genutzte Menge (Abbildung 4).

Es gilt als sicher, daß global die Wasserentnahme weiter ansteigen wird, insbesondere für landwirtschaftliche und industrielle Zwecke. Schätzungen gehen hierbei insgesamt von einer möglichen Verdopplung innerhalb von zehn Jahren aus, mit den größten Steigerungsraten in den Entwicklungsländern, insbesondere in Zonen mit rascher Bevölkerungszunahme und wachsender Landwirtschaft und Industrie (World Resources Institute, 1992).

Die Wasservorräte geraten lokal und regional verstärkt unter Druck, der vor allem durch Bevölkerungszunahme, Urbanisierung und Industrialisierung, aber auch durch Klimaveränderungen entsteht. Hinzu kommen regionale Konflikte, die zu Auseinandersetzungen um Wasserressourcen führen können (mögliche Fälle: Naher Osten, Nil, Rio Grande u.a.; Gleick, 1992). Dieser Druck äußert sich in Verknappung infolge verminderten Angebots oder wachsender Nachfrage, in Verschmutzung der Wasserressourcen mit Schadstoffen und Mikroorganismen sowie in Vergeudung infolge sorglosen Umgangs mit Wasser. Letzteres ist bedingt durch Nichtanlastung aller Kosten der Wassergewinnung und -reinigung, unzureichender Zuweisung von Nutzungsrechten oder ineffizienter Technik trotz hoher Wasserpreise. Verschmutzung und Vergeudung beschleunigen die Verknappung, erstere bedroht zusätzlich die Qualität bisher unbeeinflußten Grundwassers und damit

Kasten : *Der hydrologische Kreislauf*

Im hydrologischen Kreislauf bewegt sich Wasser als Dampf, Flüssigkeit und Eis über teilweise weite Entfernungen. Es verdunstet über den Ozeanen und Landflächen und wird von Lebewesen ausgeatmet (Transpiration von Menschen, Tieren, Pflanzen). Luftströmungen transportieren es, und durch Kondensation zu Regen und Gefrieren zu Schnee fällt es zurück zur Erde. Durch ober- und unterirdischen Ablauf fließt es den Ozeanen zu. Der hydrologische Kreislauf wird von der Sonne angetrieben. Die angegebenen Zahlen geben Schätzungen des transportierten Volumens in km^3 wieder.



Quelle: BMFT, 1992, S. 18.

Das Wasser steht phänomenologisch zwischen den Umweltmedien Luft und Boden: Luft bewegt sich im Klimageschehen frei um den Globus, während Böden ortsfeste Ressourcen sind. Das Wasser durchdringt und verbindet beide "Welten" durch den stetigen Wechsel von Verdunstung, Transport und Kondensation. Es ist in verschiedener Form sowohl in der Luft als auch in den Böden enthalten und prägt den Charakter der Luftmassen und Böden wesentlich mit. Alle wasserbezogenen Vorgänge haben einerseits für den Energiehaushalt der Erde fundamentale Bedeutung (Stichworte: Wasserdampf als Treibhausgas, Wärmetransport, Heftigkeit von Klimaereignissen), andererseits kommt dem hydrologischen Kreislauf größte Bedeutung zu für die globalen Kreisläufe der Spurenelemente (geochemische Kreisläufe von C, H, O, N, S, P, etc.), die für das Leben auf der Erde tragend sind. Wasser ist das Transportmittel der meisten natürlichen Stoffkreisläufe, Ausnahmen gibt es nur bei reinen Gasbewegungen in der Atmosphäre und bei vulkanischen Gesteinsbewegungen.

Das lokal verfügbare Wasser ist für die Wirtschaft ein wesentlicher Produktionsfaktor. Landwirtschaft, Transportwesen, Industrie und vor allem Energiewirtschaft hängen ab von einem ausreichenden Wasserangebot. Der hydrologische Kreislauf setzt diesen Nutzungsformen einen Rahmen.

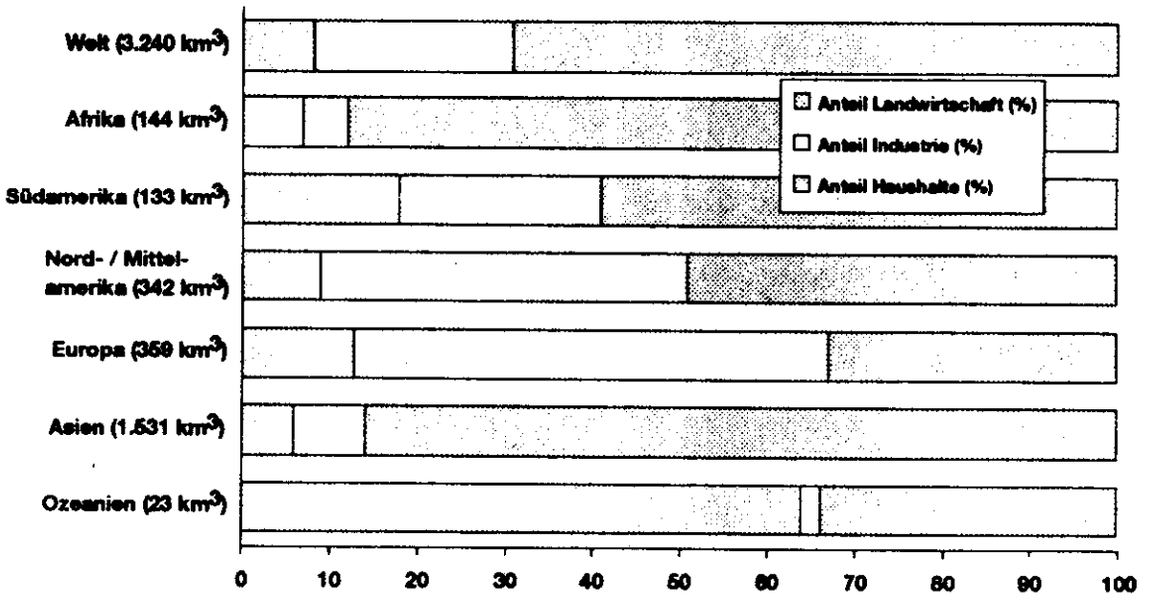


Abbildung 4: Sektorale Anteile am Wasserverbrauch aufgeschlüsselt nach Erdteilen

die Erneuerung der Ressourcen. Die Zahl der Länder bzw. Regionen mit Wasserknappheit wird derzeit auf 26 geschätzt; sie liegen vor allem in Asien, Afrika und im Nahen Osten, und ihre Zahl wird mit hoher Wahrscheinlichkeit weiter zunehmen (Tabelle 6).

Kulturgut Wasser

Wasser als Kulturgut ist in der Diskussion um *"sustainable development"* bisher kaum zu finden oder hinter Formulierungen wie "Sicherung der Trinkwasserversorgung" versteckt (hierzu AGENDA 21, Kapitel 18). Wasser spielt im öffentlichen Leben traditioneller Gesellschaften aber zumindest eine wichtige kulturelle Rolle. Dies betrifft Rituale der Reinigung und Meditation, aber auch den alltäglichen Umgang mit Wasser als Nahrungsmittel. In industriellen Gesellschaften hat Wasser kaum noch kulturelle Bedeutung. So wird Wasser nur noch gelegentlich als Gestaltungselement im öffentlichen Raum eingesetzt, Brunnenanlagen und Wasserarchitektur sind Beispiele dafür.

Die Gefährdung des Wassers betrifft auch das Wasser als Kulturgut. Verfügbarkeit und Reinheit des Wassers spielen für den Bestand vieler Kulturen eine nicht zu unterschätzende Rolle, was sich in einer Vielzahl von wasserbezogenen Traditionen und Normen zeigt. Gewässerschutz ist insofern auch Schutz der Grundlagen menschlicher Kultur (Schua, 1981).

Besonders eng waren und sind die Verknüpfungen zwischen Wasser und Kultur in den asiatischen und arabischen Ländern. In Ländern wie China, den Philippinen oder Indonesien wurden Wasserbau und Bewässerungslandwirtschaft entwickelt und zur Perfektion gebracht. In Mesopotamien, Jordanien und Ägypten bestehen technische Systeme einer "Wasserkultur" seit über 3000 Jahren. Da die europäische Kultur ihre Wurzeln im Vorderen Orient und im Mittelmeerraum hat, übernahm sie von dort in ihrer Frühphase eine hohe kulturelle Wertschätzung des Wassers.

Kulturelle Traditionen im Umgang mit Wasser sind jedoch weltweit in großem Maße verlorengegangen. Umgekehrt sind moderne Wassertechniken wie Wasserklosett und zentrale Schwemmkanalisation nicht ohne weiteres aus unseren Breiten in andere Regionen übertragbar. In vielen traditionellen Gesellschaften werden Fäkalien z.B. kompostiert und nicht mit Wasser in Berührung gebracht, was insbesondere in Monsunländern mit extremen Regenereignissen seuchenhygienisch sinnvoll erscheint. Die Installation moderner Wassertechniken kann hier nicht nur zu vermehrten Seuchengefahren führen, sondern auch zum Verlust traditionellen Wissens (Koscis, 1988).

Nur vereinzelt können traditionelle Kulturen ihre eigenen Wertvorstellungen über das Wasser gegen das Vordringen westlicher dominanter Werte schützen. Ein erfolgreiches Beispiel ist der Rechtsstreit eines Stammes der Maori in Neuseeland (1991) gegen die Entsorgung städtischer Abwässer in den Kaituna-

Fluß und den See von Rotorua. Die Abwässer der installierten Kläranlage werden seither in einer Fichtenplantage versickert, die kulturelle Wertschätzung der Maori für das Wasser wurde auf diese Weise offiziell anerkannt (WM, 1992).

Ursachen

Fünf übergreifende Ursachen globaler Wasserprobleme können unterschieden werden: *Bevölkerungszunahme, Urbanisierung, Industrialisierung, Klimaveränderungen* und *kultureller Wandel.*

In den Entwicklungsländern führt die durchschnittlich hohe Bevölkerungszunahme zu einem überproportional schnellen Wachstum der städtischen Siedlungen. Von den zehn größten Städten werden nach vorliegenden Schätzungen im Jahr 2000 acht im Süden liegen, 1960 waren es nur drei (Kapitel *Bevölkerung*). Urbanisierung und Industrialisierung (einschließlich Mechanisierung der Landwirtschaft) führen zu einer exponentiellen Zunahme des Wasserverbrauchs. So ist der tägliche Pro-Kopf-Verbrauch in Gebieten mit zentraler Trinkwasserversorgung (Druckleitungen) vielfach um den Faktor 10 angestiegen, wie aus mehreren Fallstudien bekannt ist (Stadtfeld, 1992). Dies kann lokal zu einer Überbeanspruchung und damit zu einer Verknappung der Wasserressourcen führen, die durch Ferntransport ausgeglichen werden muß (Beispiele: Bombay, Frankfurt a.M.). Beide Entwicklungen haben tendenziell steigende Mengen an schadstoffbelastetem Abwasser und Verschmutzung von Grundwasser zur Folge, die der Reinigung bedürfen, was zumeist nur unter erheblichem technischen und finanziellen Aufwand möglich ist und in Entwicklungsländern bisher in der Regel unterbleibt.

Die Industrialisierung beruht vielfach auf dem Umsatz großer Mengen von Energie und Rohstoffen und auf Fertigungsprozessen, die Wasser als Transport- und Betriebsmittel einsetzen. Durch die Ausweitung der industriellen Aktivitäten wächst so global der Wasserverbrauch, bisher zumeist überproportional (Jänicke, 1992). Eine Entkopplung von Industrieproduktion und Wasserentnahme ist jedenfalls erst festzustellen, wo bestimmte Produktionsprozesse auf Kreislaufführung des Wassers umgestellt wurden (z.B. in der Bundesrepublik Deutschland).

Für den Wasserhaushalt von Landschaften und Regionen spielt auch die mögliche Verschiebung der Klimazonen eine Rolle; Versteppung und Wüstenbildung, Vegetationsschwund, aber auch Überschwemmungen und damit verbundener Bodenverlust sowie Eintrag sauerstoffzehrender Stoffe in Gewässer und Meere hängen eng damit zusammen (siehe 1.2, 1.4 und 1.5).

Eine besondere Art des Verlusts an Kulturtraditionen zeigt sich in einer Vereinheitlichung der technischen und organisatorischen Umgangsformen mit Wasser. Hierbei spielt der Vorbildcharakter der Industriekultur nach westlichem

Länder nach Regionen	*Wasserangebot [1] (m^3 pro Kopf und Jahr)*		*Veränderung (in %)*
Jahr	*1992*	*2010*	
Afrika			
Ägypten	30	20	-33
Algerien	730	500	-32
Botswana	710	420	-41
Burundi	620	360	-42
Djibouti	750	430	-43
Kap Verde	500	290	-42
Kenia	560	330	-41
Libyen	160	100	-38
Malawi	1.030	600	-42
Marokko	1.150	830	-28
Mauretanien	190	110	-42
Niger	1.690	930	-45
Republik Südafrika	1.200	760	-37
Ruanda	820	440	-46
Somalia	1.390	830	-40
Sudan	1.130	710	-37
Tunesien	450	330	-27
Naher Osten			
Bahrain	0	0	0
Israel	330	250	-24
Jemen	240	130	-46
Jordanien	190	110	-42
Kuwait	0	0	0
Libanon	1.410	980	-30
Oman	1.250	670	-46
Qatar	40	30	-25
Saudi Arabien	140	70	-50
Syrien	550	300	-45
Vereinigte Arab. Emirate	120	60	-50
Andere			
Barbados	170	170	0
Belgien	840	870	+4
Malta	80	80	0
Niederlande	660	600	-9
Singapur	210	190	-10
Ungarn	580	570	-2

Tabelle 6: Länder mit akuter Wasserknappheit [2], 1992 und 2010

1 Geschätzte interne erneuerbare Wasserressourcen pro Jahr, nicht gerechnet Wasserzufluß aus Nachbarländern.

2 Länder mit weniger als 1.000 m^3 Wasserangebot pro Kopf und Jahr.

(WWI, 1993)

Muster und die Globalisierung der Märkte eine Rolle (siehe 2.2 und 2.4). Ein wichtiges Element dieses Wandels ist der Verlust unmittelbarer Wahrnehmung von Wasser (sowohl der Quellen als auch der Senken). Dies hat Auswirkungen auf den anthropogen beeinflußten Teil des hydrologischen Kreislaufs (Hauser, 1992). Die abnehmende Ausprägung bzw. der Verlust kultureller Werte kann insofern auch als eine Ursache globaler Wasserprobleme angesehen werden.

Lokale Ursachen

In den *Entwicklungsländern* bleibt der Aufbau einer funktionsfähigen Wasserinfrastruktur trotz teilweise großer Anstrengungen meist hinter der Zunahme der Bevölkerung zurück (Weltbank, 1992a). Leckagen verursachen erhebliche Verluste im Wasserversorgungsnetz, nach Schätzungen über 40 %. Der Wasserverbrauch im Industriesektor wächst schnell, häufig auf Kosten der ausreichenden Versorgung des Umlandes und der Randzonen der Städte (Slums). Mega-Städte wie Lagos, Mexico-City und Sao Paulo tragen durch übermäßigen Wasserentzug dazu bei, die sie umgebenden Landstriche in Wüstenlandschaften zu verwandeln (WMO, 1993).

In den ländlichen Räumen der Entwicklungsländer sind alte, zum Teil großflächige Wasserversorgungssysteme vorhanden, die oft noch in gutem Zustand sind. Infolge der Landflucht und zunehmender Bewässerungslandwirtschaft werden diese Syteme häufig durch Anlagen und Praktiken ersetzt, die einen höheren Energieeinsatz erfordern und den lokalen Wasserhaushalt durch hohe Verdunstungsraten nachteilig verändern. Begleitet wird dieser technologische Wandel durch den fortschreitenden Bruch alter Rechtsinstitutionen und Traditionen, sowie durch Subventionen für die Bewässerungslandwirtschaft.

In den *Industrieländern* wird Wasser vielfach noch insofern vergeudet, als die Preisbildung nicht alle Kosten der Wasserversorgung und -aufbereitung beinhaltet und dadurch zum Mehrverbrauch anregt. Bei hohem durchschnittlichen Verbrauch pro Kopf und Tag entstehen so auch erhebliche qualitative Belastungen des Wasserhaushalts. Zwar wächst in den meisten Industrieländern die Wassernachfrage von Haushalten und Industrie im allgemeinen nur noch schwach, die Wasserintensität der Landwirtschaft nimmt aber weiter zu. In den Ballungsgebieten entstehen aufgrund des teilweise hohen Alters der Ver- und Entsorgungssysteme erhebliche Wasserverluste (Leckagen), sowie Grundwasser- und Gewässerverschmutzung. Es besteht vielfach ein großer Erneuerungs- und Instandsetzungsbedarf der Wasserinfrastruktur, wobei es finanziell teilweise um enorme Größenordnungen geht (Beispiel Berlin: Schätzung 20 Mrd. DM für die nächsten 10 Jahre).

Die wichtigsten Ursachen der grundlegenden Wasserprobleme können wie folgt beschrieben werden:

- *Verknappung:* Abnahme der Wasserverfügbarkeit aufgrund hohen Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstums, veränderter Niederschlagsverteilung, Oberflächenversiegelung, Verlusts der Vegetationsdecke, Übernutzung von Wasservorkommen.
- *Verschmutzung:* Eintrag von Schadstoffen aus der Luft (saurer Regen, Staub, Auswaschung), aus Nutzungsprozessen (Industrie, Haushalte, Abwasserentsorgung) und Böden (Landwirtschaft und Abfalldeponien). Problematische Stoffgruppen sind Schwermetalle, Salze, Säuren, synthetische organische Stoffe (insbesondere aus der Chlorchemie), Nährstoffe (Fäkalien, erodierte Böden) sowie pathogene Keime (siehe Tabelle 7).
- *Vergeudung:* Ein im Verhältnis zum langfristig verfügbaren Vorrat, zur Regenerationsrate oder zur Substituierbarkeit übermäßiger Verbrauch von Wasser aufgrund unzureichender Zuweisung von Nutzungsrechten, nicht kostendeckender Preise und/oder der Subventionierung des Wasserpreises, ineffizienter Techniken, hoher Leckagen und Verlusts an Werthaltungen.

Langfristig wirksam und damit besonders problematisch ist die Grundwasserverschmutzung. Die Neubildung von Grundwasser ist wesentlich an intakte Pflanzendecken und Böden sowie zur Erhaltung der Qualität an das Fernhalten wassergefährdender Stoffe gebunden. In vielen Regionen ist dies nicht mehr gewährleistet. Die Qualität des gebildeten Grundwassers hängt stark von der Nutzungsart der Böden ab. Bestimmte Formen intensiver Landbewirtschaftung belasten das Grundwasser mit Pestiziden und Nährstoffen (z.B. lösliche Inhaltsstoffe der Gülle, Nitratproblem). In den Industrieländern kommt es teilweise auch unter Waldböden zu Nitratauswaschungen ins Grundwasser, insbesondere verursacht durch Stickstoffeinträge aus der Luft (durch Verkehrsemissionen, Massentierhaltung und Überdüngung). Bei bewäs-serten Nutzflächen kann durch Versalzung infolge unangepaßter Techniken die Bodenqualität abnehmen und nachhaltige landwirtschaftliche Nutzung unmöglich werden, wie dies bereits in großen Teilen der Welt der Fall ist (Repetto, 1989).

Regionale Ursachen

Regionale Ursachen globaler Wasserprobleme sind nur unscharf von den genannten lokalen Ursachen zu trennen. Bevölkerungszunahme, Urbanisierung und Industrialisierung sind auch regional wichtige Determinanten der Wassernutzung; Klimaveränderungen und kultureller Wandel sind als globale Phänomene auch regional wirksam.

Eine Typisierung der regionalen Ursachen, aber auch der Auswirkungen der Wasserprobleme kann angelehnt werden an die hydrologische Gliederung der Erde nach Ökozonen (siehe 1.4). Die wirtschaftliche und demographische Entwicklung und damit die wesentlichen anthropogenen Einflüsse auf den

Art der Wasserbelastung	*Stichworte*
Temperaturerhöhung	Sonneneinstrahlung durch Staudammbau und Flurbereinigung, Kühlwassernutzung
Säuren und Salze	anorgan. Chemikalien, Auftaumittel, Auswaschungen aus dem Bergbau, saure Niederschläge
Sauerstoffzehrende Substanzen in hohen Konzentrationen bzw. Frachten	Schwebstoffe, Sedimente, Nährstoffe, abgeschwemmte Böden, Düngemittel, Stäube, Waschmittel, Fäkalien, organ. Chemikalien, Kläranlagen
Giftstoffe in geringen Konzentrationen bzw. Frachten	Schwermetalle, Pestizide, halogenierte organ. Chemikalien, Deponiesickerwasser
Pathogene Keime	Bakterien und Viren aus Fäkalien, Deponien und Krankenhäusern

Tabelle 7 : Hauptsächliche Arten der Wasserbelastung
(World Resources Institute, 1992 und GITEC, 1992)

Region	*Ökozonen*	*Ursachen*	*Auswirkungen*
Europa	Feuchte Mittelbreiten	Grundwasserverschmutzung	Brunnenstillegungen, Standortverluste, Kosten
Naher Osten	Trockene Mittelbreiten	Mengenkonflikte, Übernutzung	Internationale Spannungen, hohe Kosten, Verlust nicht-erneuerbarer Ressourcen
Sahelzone	Subtropische Trockengebiete	Übernutzung, Klimaverschiebung	Migration, Entwicklungshemmnisse
Tropen	Sommer- und Immerfeuchte Tropen	Waldrodung, Bodendegradation	Erosion, Migration, Überschwemmungen
Nordamerika	Trockene und Feuchte Mittelbreiten	Übernutzung, Bodendegradation, Grundwasserverschmutzung	Erosion, Grundwasserrückgang
Ostasien	Winter- und Immerfeuchte Subtropen und Tropen	Bevölkerungswachstum, Fäkalienbeseitigung	Seuchengefahr, Entwicklungshemmnisse

Tabelle 8 : Typologie regional vorherrschender Ursachen und Auswirkungen von Wasserproblemen
(Zusammenstellung Wissenschaftszentrum Berlin)

Wasserhaushalt hängen eng mit diesen ökologischen Grundlagen zusammen. Die wichtigsten Arten der Wasserbelastung sind in Tabelle 7 zusammengefaßt.

Die Verfügbarkeit von Wasserressourcen kann auch durch regionale Konflikte um die Verteilung oder durch mangelhaftes Wassermanagement beeinträchtigt werden. Etwa 60 % der Menschheit wohnen in grenzüberschreitenden Flußeinzugsgebieten. Geeignete institutionelle Vorkehrungen sind daher Voraussetzung dafür, daß Konflikte um die regionale Wassernutzung vermieden werden (Beispiele: Einzugsgebiete von Ganges, Aralsee, Euphrat, Jordan, Nil, Rio Grande, Colorado, Rio de la Plata).

Globale Ursachen

Wichtige globale Ursachen der Wasserproblematik sind Klimaveränderungen und kulturelle Wandlungsprozesse. Infolge der zu erwartenden Klimaveränderungen ist mit stark veränderten Temperaturen und Niederschlagsmengen zu rechnen. Daraus resultiert eine räumlich stark veränderte Verteilung der Oberflächenabflüsse und des für die Vegetation und die Menschen verfügbaren Wassers.

Historisch gesehen sind erhebliche Veränderungen der das Wasser als Kulturgut betreffenden Deutungen und Werthaltungen eingetreten. Zwei Tendenzen sind besonders deutlich: Zum einen ist die Wertschätzung des Wassers als Ressource und als Kulturgut bei ausreichender Wasserversorgung relativ gering oder nimmt ab, was sich unter anderem darin zeigt, daß Wasser weitgehend aus dem Bewußtsein und dem öffentlichen Leben verdrängt (sozusagen "kanalisiert") ist. Zum andern ist eine hohe kulturelle Wertschätzung des Wassers in Ländern mit absoluter Wasserknappheit zu beobachten, die sich aber aus institutionellen Gründen nicht immer in hohen Wasserpreisen niederschlägt. In vielen Fällen hat die Wassernutzung dort für manche Nutzer gar keinen Preis, während andere, insbesondere die Ärmsten, zwar keinen in Geld ausgedrückten Preis zahlen, jedoch das Wasser über oft lange Strecken zu Fuß transportieren müssen.

Auswirkungen

Die Auswirkungen der Veränderungen des Wasserhaushalts auf die Schutzgüter sind ausgesprochen vielfältig und durch gleichzeitige oder zeitlich versetzte Rückkopplungen gekennzeichnet. Sie lassen sich nach Auswirkungen auf die Natur- und Anthroposphäre, sowie nach Regionen und Zeithorizonten sinnvoll differenzieren.

Natursphäre

Der hydrologische Kreislauf ist durch eine große räumliche und zeitliche Dynamik gekennzeichnet; Quantität und Rhythmus aller Transportvorgänge verändern sich laufend. Das Wasser als Träger oder Grundlage aller

Lebensprozesse ist auf das engste mit allen Vorgängen in der Natursphäre verbunden, was die Beschreibung der Auswirkungen der Wasserprobleme auf die Natursphäre an dieser Stelle nur in allgemeiner Form möglich macht (World Resources Institute, 1992; Postel,1992). Folgende Zusammenhänge dürften besonders wichtig sein:

- *Klima*: Die Austauschprozesse des Wassers zwischen Atmosphäre und den Ozeanen bzw. den Landflächen bestimmen wesentlich das Klima. Die Veränderung des Wasserhaushalts im Boden, auf der Erdoberfläche und in der Vegetation hat Auswirkungen auf das lokale Klima; bei größeren Veränderungen (Beispiel: großflächige Waldrodung) kann auch das regionale Klima beeinflußt werden.
- *Ökologie*: Die Veränderungen im Wasserhaushalt haben unmittelbare Auswirkungen auf Böden, Pflanzen und Tierwelt, sowie naturgemäß auf die Lebensräume im Wasser selbst; mittelbar sind davon alle Nahrungsketten betroffen.
- *Bodendegradierung*: In vielen land- und forstwirtschaftlich genutzten Gebieten der Erde nimmt die Auswaschung der Bodenkrume zu, bis hin zur Wüstenbildung. Bewässerungssysteme ohne ausreichenden Abfluß oder mit zu geringer Bewässerungsrate bei hoher Verdunstung fördern die Versalzung der Böden.
- *Katastrophen*: Veränderungen der Wasserverteilung auf Gewässer, Böden und Atmosphäre (Abflußraten, Verdunstung, Speicherung) können Einfluß auf Häufigkeit und Heftigkeit von außergewöhnlichen Wetterereignissen haben, auf Überschwemmungen und Dürren. Hier spielen Bodenbeschaffenheit und Bodenbedeckung jedoch eine große Rolle (siehe 1.4).
- *Tektonik*: Durch die polaren Eiskappen, aber auch durch große Stauseen und Flußumleitungen kann die lokale Belastung der Erdkruste derart verändert werden, daß tektonische Wirkungen eintreten. Diese Vermutung wurde in Bezug auf das Niltal (Assuan-Staudamm) und das Tal des Parana (Iguaçu-Staudamm) geäußert und führte in Sibirien (neben anderen Gründen) zu einer Neubewertung geplanter großer Dammprojekte.
- *Albedo*: Künstlich geschaffene neue Wasserflächen, die Veränderung der Eisflächen, Veränderungen der Vegetation, auch neu entstehende Steppen und Wüsten verändern den Strahlungshaushalt der Erdoberfläche und damit wiederum das Klima.
- *Primärproduktion*: Die Verringerung der am jeweiligen Standort vorhandenen Wassermenge und -qualität kann unmittelbare, negative Folgen für Pflanzen und Tiere haben, die Artenspektren verschieben sich, Land- und Forstwirtschaft müssen sich anpassen. Die Geschwindigkeit solcher Veränderungen ist oft so hoch, daß die natürlichen Anpassungsraten überschritten werden, was bei fehlenden ökologischen Rückzugsräumen (Reservaten) zum Aussterben von Arten führt (Beispiel: Aussterben von Wasservögeln in Mitteleuropa).

Land- und Forstwirtschaft bilden in gewisser Weise die Schnittstelle zwischen Natur- und Anthroposphäre, so daß Wasserverknappung, -verschmutzung und -vergeudung gleichzeitig in vielen Bereichen von Natur- und Anthroposphäre negative Folgen haben können.

Anthroposphäre

Wasser beeinflußt zunächst das physische Wohlergehen von Mensch und Gesellschaft. Daneben sind vielfach die immateriellen Wertschätzungen von Wasser relevant, die einen wichtigen Teil kultureller Werte darstellen. Die Wechselwirkungen zwischen den oben angeführten Wasserproblemen und der Anthroposphäre können wie folgt zusammengefaßt werden (Postel, 1992; Stiftung Entwicklung und Frieden, 1991; Schua, 1981):

- *Grundversorgung*: Unmittelbare Folgen von Trinkwassermangel (fehlende Menge bzw. Qualität) sind Durst und Gesundheitsschäden. Mittelbar führt Wassermangel zu Dürre und dadurch zu Hunger; beides sind Hauptgründe für Migrationsbewegungen. In Industrieländern wird die Trinkwasserversorgung mit unbelastetem Grundwasser zunehmend schwieriger.
- *Hygiene*: Unzulängliche Techniken im Umgang mit Wasser und Abwasser sind Ursachen für Seuchen, hohe Mortalität und Morbidität, Säuglingssterblichkeit und niedrige Lebenserwartung.
- *Produktion und Dienstleistungen*: Abnehmende Verfügbarkeit und Qualität von Wasser können die Leistungsfähigkeit von Landwirtschaft und Industrie vermindern. Dabei kann es zu erheblicher Konkurrenz zwischen diesen Nutzungen kommen, wobei die Ansprüche an die Wasserqualität zum Teil miteinander unvereinbar sind. Viele Dienstleistungen wie Erholung und Tourismus hängen von der verfügbaren Wassermenge und -qualität ab oder sind unterhalb gewisser Grenzen nicht möglich oder unökonomisch.
- *Siedlungswasserbau*: Mischkanalisation und unzureichende Rückhaltekapazitäten in regenreichen Gebieten verhindern eine sichere Trennung verschmutzten Wassers von den Gewässern. Dies führt insbesondere bei niedriger Wasserführung zu hygienischen und ökologischen Problemen.
- *Ästhetik*: Quantitative oder qualitative Veränderung des Wasserhaushalts können die ästhetische Qualität der Landschaft und damit eine wesentliche Grundlage der Kultur und des menschlichen Wohlbefindens beeinträchtigen.
- *Sozialer Friede*: Verteilung und Qualität des Wassers können Anlaß sein für lokale Streitigkeiten (Brunnen), aber auch für großräumigere Konflikte z.B. zwischen Unter- und Oberliegern an Flüssen; sie können im Extremfall zu Kriegen führen.

Alle genannten Wechselwirkungen sind potentiell wichtige Hemmnisse für die wirtschaftliche, soziale und kulturelle Entwicklung, und sie treten, mit regional unterschiedlichen Ausprägungen, global auf.

Regionale Unterschiede

Eine Typologie der regional vorherrschenden Ursachen und Auswirkungen der Wasserprobleme findet sich in Tabelle 8.

Die meisten *Entwicklungsländer* liegen in den Tropen und Subtropen; dort fällt während der Regenzeit in kurzer Zeit so viel Niederschlag, daß die Kapazität der Böden (und der Oberflächengewässer) oft nicht ausreicht, das Wasser zu speichern. Der fortschreitende Verlust an großflächigen tropischen Waldökosystemen verschärft dieses Problem. Gleichzeitig sind die mittleren Verdunstungsraten dort oft so hoch, daß Wasser nur mit erheblichem Aufwand für längere Zeit gespeichert werden kann. Auch Ferntransporte von Trinkwasser und Abwasser sind aufwendiger und gesundheitlich riskanter als in gemäßigten Breiten. Hinzu kommt, daß in den Ballungsgebieten der Entwicklungsländer die Wasserprobleme aufgrund mangelnder Infrastruktur viel unmittelbarer die Lebensbedingungen der Bewohner verschlechtern (Trinkwassermangel, Hygiene) als anderswo.

In den *Industrieländern*, die sich fast alle in nördlichen, temperaten Zonen befinden, sind die Wasserprobleme grundsätzlich weniger gravierend. Hier ist nach vorherrschender Auffassung die Wasserverschmutzung drängend, besonders die Frage des Rückgangs unbelasteter Grundwasservorräte. In den Ballungsgebieten der Industrieländer zeigt sich das "lange Gedächtnis" des Kreislaufmediums Wasser: Persistente Stoffe, die einmal in den Kreislauf gelangt sind, werden in andere Umweltmedien verteilt, können dadurch in den Ökosystemen akkumulieren und in der Folge auf den Menschen zurückwirken.

Wichtig für eine globale Wasserstrategie ist also die Berücksichtigung des Nord-Süd-Gefälles, der Erhalt bzw. die Wiederbelebung kultureller Werthaltungen, die Formulierung entsprechender technischer und finanzieller Transfermechanismen, aber auch die Herausbildung funktionierender Wassermärkte, die zumindest kostendeckende Preise gewährleisten.

Zeithorizonte

Je nach Nutzungsart des Wassers durch Menschen, Tiere und Pflanzen lassen sich die Zeithorizonte unterscheiden, in denen sich die oben aufgezeigten Wasserprobleme bemerkbar machen. Die folgende Zusammenstellung enthält jeweils einige relevante Stichworte zur Natur- und Anthroposphäre:

- *Kurzfristig*: Wasser hat eine mittlere Verweildauer in der Atmosphäre von etwa neun Tagen. Beim Menschen ist eine ausreichende

Versorgung mit Wasser je nach Klimazone eine Frage von wenigen Stunden, während Wasser zur Reinigung und Hygiene mindestens für einige Tage verzichtbar ist.

- *Mittelfristig*: Das Wasser auf der Erdoberfläche fließt in der Regel in wenigen Tagen bis Wochen ab. Für die landwirtschaftliche und industrielle Produktion wird Wasser je nach Art der Produktionsmethoden kontinuierlich oder nur zu bestimmten Zeiten im Tages- und Jahreslauf benötigt (Beispiele: Kraftwerke, Bewässerungslandwirtschaft, Lebensmittelverarbeitung); hier sind die Zeithorizonte Stunden oder Tage. Ausfälle sind aber weniger bedrohlich als beim Trinkwasser und können für Wochen oder Monate ausgeglichen werden, bei geschlossenen Kreisläufen auch länger.

- *Langfristig*: Im Grundwasser ist die Verweildauer des Süßwassers am größten; es gibt fossile Grundwasservorkommen, die einige Jahrtausende alt sind. Wasser als Kulturgut hat generell einen langen Zeithorizont, da es Ausdruck gewachsener Werthaltungen und Traditionen ist. Die Prägung der Kulturen durch Landschaft und Vegetation hängt eng mit den klimatischen und hydrologischen Bedingungen zusammen.

Verknüpfung zum globalen Wandel

Viele der tatsächlichen und potentiellen Verknüpfungen des Wassers mit anderen wesentlichen Bereichen des globalen Wandels wurden oben bereits angesprochen, die wichtigsten sind in Tabelle 9 noch einmal zusammengefaßt. Bezüglich der Ziele, Instrumente und Institutionen gibt es verschiedene Überlappungen mit anderen Teilen des Gutachtens. So ist z.B. Wasser unmittelbar Grundlage der Natursphäre (Atmosphäre, Klima, Böden, Wald, biologische Vielfalt) und mittelbar der Anthroposphäre (Bevölkerung, Wirtschaft, Verkehr, Kultur). Weitgehende Zielharmonie dürfte hinsichtlich Naturschutz, Erhöhung der Effizienz der Ressourcennutzung und Vermeidung umweltschädlicher Stoffe und Emissionen bestehen.

Folgefragen der Rio-Konferenz

In den Dokumenten der UNCED-Konferenz in Rio de Janeiro 1992 spielt das Thema Wasser eine gewisse Rolle. Die folgende Zusammenstellung gibt die wichtigsten Stichworte aus drei für den Rio-Folgeprozeß wichtigen Dokumenten wieder, der Klimakonvention, der Konvention über biologische Vielfalt und der AGENDA 21.

1. *Klimakonvention:*

Die Klimakonvention enthält keinen direkten Bezug zum Wasserthema, ist jedoch in zweierlei Hinsicht relevant: Einerseits aufgrund der darin enthaltenen Einigung der internationalen Staatengemeinschaft auf die Grundsätze gemeinsamer Verantwortung, nachhaltiger Entwicklung und Anerkennung des Vorsorgeprinzips; andererseits aufgrund der Zielkongruenz von Energie- und Wassereffizienz. Die Klimakonvention gibt Industrieländern einen Motivations- und Innovationsschub zur Effizienzerhöhung in Hinblick auf fossile Brennstoffe, was gleichzeitig die Effizienz im Umgang mit anderen Stoffen erhöhen dürfte, einschließlich der Substitution wassergefährdender Stoffe und der Wassernutzung selbst.

2. *Konvention über biologische Vielfalt:*

Die Wiederherstellung und der Schutz von naturnahen Lebensräumen umfassen auch aquatische Ökosysteme. Diese Aufgabe kann nur gelingen, wenn einerseits ein strikter Gewässerschutz praktiziert wird und andererseits über den hydrologischen Kreislauf der Wasserhaushalt von Ökosystemen wieder ins Gleichgewicht gebracht wird. Auch hier gibt es übereinstimmende Ziele und Leitlinien zum Schutz der Wasserressourcen, etwa bei nachhaltiger Entwicklung und bei Schutz und Anwendung traditioneller Bewirtschaftungsformen.

3. *AGENDA 21:*

	National	*International*
Kapitel 3		Berücksichtigung der kulturellen Identität und und der Rechte eingeborener Bevölkerungsgruppen (Wasserkultur)
Kapitel 4	Änderung nicht nachhaltiger Arten des Konsums und Produktionsweisen (Wasser als Lebens- und Produktionsmittel)	Internationale Unterstützung und Kooperation bei der Verfolgung der gleichen Ziele
Kapitel 6		Entwicklungszusammenarbeit im Gesundheitsschutz durch Unterstützung sicherer Trinkwasserversorgung und Abwasserreinigung, Wasserkultur, Bekämpfung wasserbürtiger Krankheiten
Kapitel 7	Integrierter kommunaler Umweltschutz, nachhaltige Baumethoden (Wasserinfrastruktur, Stadthygiene)	Internationale Unterstützung und Kooperation bei der Verfolgung der gleichen Ziele
Kapitel 8	Internalisierung externer Kosten (Schonung von Wasserressourcen), Vermeidung von Verschmutzung und Vergeudung	Internationale Unterstützung und Kooperation bei der Verfolgung der gleichen Ziele
Kapitel 10	Umstellung der Landwirtschaft auf nachhaltige Methoden (Grundwasserschutz, Erosionsvermeidung)	Internationale Unterstützung und Kooperation bei der Verfolgung der gleichen Ziele

Bereich	*Stichworte*
Atmosphäre	Eintrag von Schadstoffen, Verdunstung, Albedo
Klima	Niederschlagsverteilung, Dürregebiete, Energiegehalt von Wetterereignissen
Ozeane, Küsten	Geochemische Kreisläufe, Sedimente und Schadstofftransport
Böden	Grundwasserneubildung, Wassererosion, Pflanzendecke
Biologische Vielfalt	Versteppung, Dürren, Überschwemmungen, Kulturlandschaften
Bevölkerung	Trinkwassermangel, Hygieneprobleme, Umweltflüchtlinge
Wirtschaft	Landwirtschaft (Bewässerung, Grundwasserverschmutzung), Industrie (Wasserintensität, wassergefährdende Stoffe), Energiewirtschaft (Wasserkraft, Kühlwasser) Wasserproduktivität, technische und organisatorische Innovationen, Metabolismus des Industriesystems, ökologisches Ressourcenmanagement
Verkehr	Urbanisierung, Massentourismus, Wasserwege
Werte und Einstellungen	Verantwortung, Sparsamkeit, Nachhaltigkeit, Landschaftsästhetik

Tabelle 9: Verknüpfungen des Wassers mit anderen Hauptbereichen des globalen Wandels
(Zusammenstellung Wissenschaftszentrum Berlin)

Kapitel 11	Verbesserung der nachhaltigen Bewirtschaftung der Wälder, insbesondere zum Grundwasserschutz	Internationale Unterstützung und Kooperation bei der Verfolgung der gleichen Ziele
Kapitel 12	Nachhaltige Bewirtschaftung sensibler Ökosysteme (Stabilisierung des Wasserhaushalts durch Wassersparen, z.B. Frankfurt a. M., Berlin, Hamburg)	Internationale Unterstützung und Kooperation bei der Verfolgung der gleichen Ziele
Kapitel 13	Nachhaltige Entwicklung von Bergregionen (Vermeidung von Überschwemmungen, Wassererosion)	Internationale Unterstützung und Kooperation bei der Verfolgung der gleichen Ziele
Kapitel 14	Aufstellung von Katastern der Erosion und Versalzung von Böden , Vermeidung von Gewässer- und Grundwasserverschmutzung durch nachhaltige Landwirtschaft	Internationale Unterstützung und Kooperation bei der Verfolgung der gleichen Ziele
Kapitel 17	Hochwertige Landschafts- und Gewässernutzungsplanung, Notfallpläne, Abwasservermeidung und -behandlung, Schutzgebiete, Abfallbehandlung an Land	Unterstützung von nachhaltiger Bewirtschaftung und Schutz der Meere und Küsten (Wasserreinhaltung, Erhaltung aquatischer Lebensräume , nachhaltige Fischerei)
Kapitel 18	Förderung der Wertschätzung von Wasser, Fortentwicklung der Wasserpolitik, Schutz des Wassers als öffentliches Gut, Anpassung menschlicher Aktivitäten an natürliche Grenzen (umweltverträgliche Landwirtschaft, Wassersparen, integrierte Wasserkreisläufe in der Industrie, ökologischer Stadtumbau, Überschwemmungsvorsorge)	Internationale Unterstützung und Kooperation zur Bekämpfung wasserbürtiger Krankheiten und auf folgenden Gebieten: Wasserressourcen, Qualitätssicherung, Trinkwasser- und Sanitärversorgung, ökologische Stadtentwicklung, Primärproduktion, Klimaveränderungen
Kapitel 19	Chemikaliensicherheit verbessern (wassergefährdende Stoffe, Unfälle, Transport auf Wasserwegen)	Internationale Unterstützung und Kooperation bei der Verfolgung der gleichen Ziele
Kapitel 20, 21, 22	Vermeidung und Verwertung von gefährlichen, festen und radioaktiven Abfällen und Klärschlamm (Gewässerschutz durch sichere Lagerung, Emissionsminderung, Transportunfallvermeidung)	Internationale Unterstützung und Kooperation bei der Verfolgung der gleichen Ziele

Kapitel 24, 26, 27	Beteiligung von Frauen, eingeborenen Bevölkerungsgruppen und Nichtregierungsorganisationen an allen Entscheidungen (Wasserkultur, traditionelle Wassertechnik, lokales Wissen)	Internationale Unterstützung und Kooperation bei der Verfolgung der gleichen Ziele
Kapitel 31, 35	Wissenschaft und Technik, sowie Forschung für nachhaltige Entwicklung: Wassereffizienz, Wassertechnik, Wasserkultur, integrierte Stoffkreisläufe, regionale Kooperation in Wassereinzugsgebieten)	Internationale Unterstützung und Kooperation bei der Verfolgung der gleichen Ziele
Kapitel 39	Internationales Umweltrecht entwickeln (Wasserkonvention), Vereinbarungen einhalten (grenzüberschreitende Einzugsgebiete)	(siehe national)

Bewertung / Handlungsbedarf

Angesichts der grundlegenden Bedeutung des Wassers für eine nachhaltige Entwicklung (*"sustainable development"*) auf der lokalen, regionalen und globalen Ebene sind vier Handlungsfelder relevant, die hier ohne Wertung aber möglichst gleichzeitig in den Blick zu nehmen sind: die Nachfrage nach und das Angebot an Wasser, die Wasserverschmutzung und naturbedingte Risiken. Im folgenden werden diese vier zentralen Handlungsfelder skizziert und daraus Elemente einer globalen Wasserstrategie abgeleitet.

Wassernachfrage

Nach allem, was wir über den Zusammenhang von Hydrosphäre und Anthroposphäre wissen, kann kein Zweifel bestehen, daß es viele Möglichkeiten eines sorgfältigen Umgangs mit Wasser gibt, d.h. besonders den Wasserverbrauch deutlich zu senken bzw. die Wasserproduktivität zu erhöhen (im Englischen: *wise use* bzw. *demand side management*). Hierzu ist rationelle Wassernutzung ebenso erforderlich wie eine entsprechende Wasserspartechnik in allen wesentlichen Verbrauchsbereichen (quantitativer Ansatz). Daneben kann durch Maßnahmen auf der Nachfrageseite auch die Qualität der Wasserressourcen gesichert werden (qualitativer Ansatz). Im folgenden sollen hierzu jeweils einige Beispiele genannt werden .

- *Industrie, quantitativer Ansatz:* Ein Großteil des benötigten Wassers kann mehrfach wiederverwendet werden, bis hin zur Einführung voll integrierter Wasserkreisläufe. In manchen Industriezweigen, wie Eisen- und Stahlindustrie, aber auch der Papierindustrie, einem der traditionell größten industriellen Wassernutzer und -verschmutzer, ist es selbst bei niedrigen Wasserpreisen bereits betriebswirtschaftlich rentabel, Wasser

im geschlossenen Kreislauf zu führen. *Qualitativer Ansatz:* Für einen großen Teil industrieller Prozesse wie Kühlung, Stofftrennung und Reinigung ist Trinkwasserqualität nicht erforderlich. Die Substitution wassergefährdender durch umweltverträgliche Stoffe entlastet die Gewässer und verringert die Kosten für nachgeschaltete Umwelttechnik (Beispiel: Ersatz von Chlorbleiche durch Peroxidbleiche in der Zellstoffindustrie).

- *Landwirtschaft, quantitativer Ansatz:* Eine höhere Effizienz der Wassernutzung für Bewässerungszwecke anzustreben erscheint schon deshalb erforderlich, weil die Landwirtschaft in vielen Ländern der Welt der größte Wassernutzer ist. Selbst kleine prozentuale Sparerfolge entsprechen hier großen Wassermengen. Viele neue und alte Methoden sind verfügbar, sie müssen nur auf die spezifischen Bedürfnisse der angebauten Pflanzen ausgerichtet und hinreichend an die lokalen Gegebenheiten angepaßt werden. *Qualitativer Ansatz:* Die Nutzung der nichterneuerbaren Grundwasservorräte, die in mehreren Regionen (u.a. Aralsee, Nahost, Nordafrika, mittlerer Westen der USA) zur Bewässerung erfolgt, muß dringend auf erneuerbare Quellen umgestellt werden. Die Förderung ökologischer Landbaumethoden, Niederschlagsnutzung und Wahl angepaßter Pflanzenarten eröffnen hierzu vielfältige Chancen.

- *Infrastruktur, quantitativer Ansatz:* Was die Einführung von Wasserspartechniken angeht, sind die Entwicklungsländer den alten Industrieländern gegenüber in einem gewissen Vorteil, weil nicht alte Infrastrukturen erneuert und ersetzt werden müssen, sondern viele erst neu aufgebaut werden. Mit einigen dieser Techniken kann man bis zu 90 % Wasser einsparen. *Qualitativer Ansatz:* Generell gilt, daß nicht für jeden Verwendungszweck in Industrie, Landwirtschaft und Haushalten Trinkwasserqualität erforderlich ist. Doppelte Leitungsnetze, lokale Brauchwasserversorgung, Pflege oder Wiederinstandsetzen lokaler Trinkwasserbrunnen sind hierbei relevante Optionen.

- *Haushalte, quantitativer Ansatz:* Im Vergleich zur industriellen Wassernutzung und zur Bewässerung in der Landwirtschaft ist der Wasserverbrauch der Privathaushalte im allgemeinen relativ gering. Andererseits ist hier die Vorhaltung, Verteilung und Aufbereitung von Wasser aufgrund der erforderlichen Qualitätsstandards eher teuer. Viele Menschen haben ohne jeden ökonomischen Anreiz ihren Wasserverbrauch drastisch reduziert. Andererseits kann je nach der verfolgten Wasserpreispolitik aktives Wassersparen die Wasserkosten je Haushalt und die Kosten der Versorgungsunternehmen deutlich senken. Insbesondere durch technisch effizientere Geräte und Einrichtungen (wie sparsamere Toiletten, Wasch- und Spülmaschinen, Badeeinrichtungen) lassen sich erhebliche Einsparungen erzielen. *Qualitativer*

Ansatz: Der Wert sauberen Wassers und der Ressourcenschonung kann der Öffentlichkeit bewußter gemacht werden, damit Verschmutzung und Vergeudung abnehmen. Außerdem ist auch im privaten Bereich die Substitution wassergefährdender Stoffe möglich (Haushalts-, Garten- und Hobbychemikalien). Auch in Gebieten ohne akute Wasserknappheit kann die Vermeidung unnötigen Wasserverbrauchs aus Vorsorgegesichtspunkten erfolgreich propagiert werden (analog zum Prinzip der Vermeidung in der deutschen Abfallgesetzgebung) und zu entsprechenden technischen Innovationen führen.

Eine Voraussetzung für die erfolgreiche Durchsetzung solcher und ähnlicher Maßnahmen ist die Wasserverbrauchsmessung. In vielen Regionen der Erde ist diese entweder unbekannt oder nicht üblich, selbst die Bundesrepublik Deutschland ist noch weit von einer flächendeckenden Verbreitung von Wasserzählern entfernt (Behr, 1993). In Ländern mit hohem Wasserverbrauch muß der Preis für Frischwasser und Abwasser hoch genug sein, damit der finanzielle Anreizeffekt zum Wassersparen überhaupt greifen kann. Zumeist ist der Wasserpreis bisher niedrig, in manchen Ländern wird Wasser weiterhin kostenlos oder hoch subventioniert an den Nutzer abgegeben. Sorgfältiger Umgang (*wise use*) bzw. Nachfragesteuerung (*demand side management*) kann und sollte an diesen Punkten ansetzen.

Wasserangebot

Das zweite Handlungsfeld betrifft die Angebotsseite (*supply side management*). Das jeweilige Wasserangebot kann auf vielfältige Weise erhöht werden; es gibt konventionelle, nicht-konventionelle und noch zu erprobende Methoden. Der erste Schritt dürfte sinnvollerweise darin bestehen, die laufenden, teils enormen Verluste aus den vorhandenen Versorgungssystemen zu verringern. Dies reicht von der Erneuerung der Versorgungsleitungen bis zur Reduzierung der Verdunstungsverluste durch kürzere Transportentfernungen und unterirdische Vorratsbehälter. Eine getrennte Wasserversorgung mit Trink- und Brauchwasser (duales System) kann Angebotsausweitung bedeuten, da Wasserressourcen minderer Qualität in größerem Umfang eingesetzt werden können. Erfolgreiche Beispiele dieser Art gibt es in mehreren Industrieländern (Environmental Protection Agency, 1992; Kraemer, 1990).

Zu den nichtkonventionellen Methoden gehören die in einzelnen Regionen der Welt mögliche künstliche Beregnung, die Entsalzung von Meer- und Brackwasser, aber auch der Ferntransport von Wasser mit Tanklastwagen und Pipelines (der genaugenommen allerdings keine Ausweitung des Angebotes, sondern nur dessen räumliche Verlagerung bedeutet). Verschiedene Entsalzungstechniken wurden entwickelt, die aber vielfach noch zu teuer und zudem sehr energieintensiv sind. Ferntransport von Wasser ist dagegen schon in einigen Ländern und Regionen üblich, so z.B. im Nahen Osten. Ein mit wenig Aufwand verbundenes, an die örtlichen Gegebenheiten angepaßtes

Beispiel für nichtkonventionelle Methoden ist die Gewinnung von Trinkwasser aus Nebel. So wird z.B. an der Küste von Chile die vom Meer über das Land hinwegziehende Luftfeuchtigkeit, die normalerweise erst im Hinterland abregnet, an quer zur Windrichtung aufgestellten Netzen kondensiert und gesammelt. Neben der direkten Angebotsausweitung kann Wasserqualitätskontrolle bzw. Vermeidung von Wasserverschmutzung das insgesamt nutzbare Wasserangebot indirekt erhöhen.

Die Ausweitung des Angebots an sauberem Trinkwasser, sowie die Bereitstellung sicherer sanitärer Anlagen sind global gesehen sehr dringlich. Mit der "Internationalen Trinkwasser- und Sanitär-Dekade" der 80er Jahre sind zwar einige bemerkenswerte Teilerfolge erzielt worden, doch konnte die Zahl der Menschen ohne ausreichende Trinkwasserversorgung nicht nennenswert gesenkt werden.

Gewässerschutz

Was das dritte Handlungsfeld angeht, besteht weitgehende Übereinstimmung darüber, daß weltweit höhere Anstrengungen erforderlich sind, damit die Verschmutzung von Oberflächengewässern und Grundwasservorräten unterbleibt (*pollution prevention*). Vermeidung von Wasserverschmutzung heißt letztlich, alle gefährlichen Stoffe vom Wasser fernzuhalten. Dies betrifft insbesondere Industrie und Landwirtschaft, die auf umweltverträglichere Methoden umgestellt werden müssen. Die Verwendung von Pestiziden und mineralischen Düngemitteln sollte und kann schnell reduziert werden, nachhaltige, umweltschonende Landbewirtschaftung kann als Leitbild propagiert werden. Subventionen für Bewässerungslandwirtschaft sollten möglichst beendet und ökologischer Landbau für seine Beiträge zum Gewässerschutz finanziell kompensiert werden. Dies gilt für Industrie- und Entwicklungsländer gleichermaßen, wobei in Entwicklungsländern allerdings die Ernährungslage der Bevölkerung besonders beachtet werden muß.

In den Entwicklungsländern wird es weiterhin schwierig bleiben, die Verschmutzung der Gewässer durch kommunale und industrielle Abwässer zu verhindern, weil es an funktionierenden Ver- und Entsorgungssystemen mangelt. Hier besteht bei der Neuansiedlung von Gewerbe und Industrie jedoch die Chance, von vornherein auf niedrigen Wasserverbrauch (hohe "Wasserproduktivität") zu achten. Die Industrieproduktion kann erheblich wasserschonender gestaltet werden, durch Wasserspartechniken und Verbote wassergefährdender Stoffe. Es gibt auch bemerkenswerte Beispiele naturnaher Abwasserbehandlung für Industrie und Siedlungen ("Pondsysteme" in einzelnen tropischen und subtropischen Ländern, Wurzelraumentsorgung in Deutschland), die im Hinblick auf ihre internationale Übertragbarkeit geprüft und gegebenenfalls gefördert werden sollten.

Eine bedeutende Rolle bei der Verringerung bzw. Vermeidung der Wasserverschmutzung kommt den Planungsprozessen auf der lokalen und regionalen Ebene zu. Integrierte Entwicklungsplanung sollte sich stärker an den natürlichen Gegebenheiten orientieren und die Wasserressourcen als Rahmen für eine nachhaltige Entwicklung beachten und sichern helfen.

Katastrophenmanagement

Das vierte Handlungsfeld läßt sich mit dem Begriff Katastrophenmanagement (*crisis and disaster management*) beschreiben. Häufigkeit und Intensität von Überschwemmungs- und Dürrekatastrophen haben im Laufe der Zeit zugenommen, weitreichende regionale Migration von Bevölkerungsgruppen waren die Folge (Bangladesch, Somalia, Sudan). Im Zusammenhang mit den Dürrekatastrophen in Afrika ist der Begriff "Umweltflüchtling" entstanden. Nach Schätzungen des Internationalen Komitees des Roten Kreuzes sind bereits über 500 Mio. Menschen als Umweltflüchtlinge anzusehen (Stiftung Entwicklung und Frieden, 1991). Zwar hat es in der Geschichte immer wieder Dürreperioden gegeben, aber die Fähigkeiten, damit umzugehen, scheinen rückläufig zu sein. Überschwemmungen sind in verschiedenen Teilen der Welt naturbedingt, aber zunehmend von menschlichen Aktivitäten mitverursacht. Viele Entwicklungserfolge können so in kurzer Zeit wieder zunichte gemacht werden. Daher wäre nach Auffassung des Beirates nicht nur kurative Nothilfe, sondern präventives Katastrophen-Management stärker zu thematisieren, das heißt: bessere Anpassung an und rechtzeitige Vorbereitung auf solche Ereignisse. Bisher gibt es erst ansatzweise Vorschläge und Planungen zu einem Umwelt- und Katastrophenhilfswerk, das im Auftrag der EG und/oder der UN tätig werden könnte und zu dessen Aufgabenbereich Fragen im Zusammenhang mit Überschwemmungs- und Dürrekatastrophen, aber auch der Wasserverschmutzung gehören könnten.

Elemente einer globalen Wasserstrategie

Der Beirat gibt zu bedenken, ob nicht die Zeit gekommen ist, eine globale "Wasserstrategie" zu propagieren, im Sinne eines strukturierten, durchformulierten Politikbereichs. Die heute bereits vorhandenen, mehr aber noch die zukünftig zu erwartetenden Wasserprobleme machen eine systematische Auseinandersetzung um die damit verbundenen Ursachen und Folgen jedenfalls dringend erforderlich (WMO, 1993). Daher sollen im folgenden die Umrisse einer möglichen zukünftigen globalen Wasserstrategie skizziert werden. Zur Umsetzung einer solchen Strategie könnten seitens der Bundesregierung eine Reihe von Initiativen bilateraler und multilateraler Art ergriffen werden, weil in der Bundesrepublik Deutschland wertvolles Wissen und Technologien zum sorgfältigen Umgang mit Wasser und zur Vermeidung der Wasserverschmutzung vorhanden sind.

- *Ziele*: Es ist davon auszugehen, daß die spezifischen Ziele einer Wasserstrategie sich von Land zu Land und von Region zu Region anders darstellen; Ziele für alle aber sind: Sparsamer Umgang mit Wasser ("*Wassersparen*"), Erschließung neuer Wasserressourcen ("*Wasserangebot*"), Vermeidung von Wasserverschmutzung ("*Wasserqualität*"), Wiederbelebung bzw. Pflege kultureller Werthaltungen ("*Wasserkultur*"). Die Konkretisierung dieser Ziele und entsprechender Leitlinien könnte, ähnlich wie bei den Themen Klima und biologische Vielfalt, in einer international zu vereinbarenden "Wasserkonvention" erfolgen.

In mehreren *Industrieländern* muß möglichst rasch ein sparsamerer Umgang mit Wasser (eine höhere *Wasserproduktivität*) erreicht werden, da bereits jetzt in vielen Fällen die lokalen Wasservorkommen qualitativ und quantitativ nicht mehr ausreichen. Im Mittelpunkt des Interesses steht bisher allerdings noch die Verschmutzung des Grundwassers (durch Altlasten und diffuse Quellen) und der Oberflächengewässer.

In den meisten *Entwicklungsländern* dürfte die Bereitstellung *sauberen Trinkwassers* und angepaßter *sanitärer Einrichtungen* weiterhin höchste Priorität beanspruchen. Da dabei Konflikte mit der wachsenden Wassernachfrage seitens der Landwirtschaft und der Industrie vorprogrammiert sind, werden sektorale Prioritäten zu setzen und effiziente Verteilungsmechanismen aufzubauen sein. Hierzu können sowohl die Einführung bzw. Differenzierung der Wasserpreise und vor allem die bessere Zuweisung von Wassernutzungsrechten beitragen.

In vielen Entwicklungsländern besteht darüber hinaus ein besonderes Problem in dem Gefälle der Wasserverfügbarkeit zwischen Stadt und Land. Staatliche Maßnahmen sind bisher häufig auf die städtischen Gebiete konzentriert worden, in denen sich "Druck von unten" generell schneller entfaltet als in ländlichen Gebieten. Damit ging oft ein nicht angepaßter Technologietransfer einher, was in bestimmten Situationen zum Zusammenbruch der Versorgung führen kann. Für die Bewässerung wiederum werden häufig Techniken eingesetzt, die für dauerhaften Einsatz zu kompliziert oder mit hohen Wasserverlusten (z.B. Verdunstung) verbunden sind.

Neben der Verbesserung der Preis- und Mengenmechanismen besteht in vielen Entwicklungsländern zudem ein zudem hoher Bedarf an Einführung und Wiederherstellung von *Infrastrukturen* zur Wasserversorgung und Abwasserentsorgung. Hierbei ist, wie viele Beispiele zeigen, eine aktivere Beteiligung der Bevölkerung erforderlich, weil nur dies die langfristige Funktionstüchtigkeit neuer Systeme gewährleistet.

- *Instrumente:* Über die geeigneten Instrumente einer globalen Wasserstrategie herrschen verständlicherweise unterschiedliche Meinungen vor. Die Bedeutung und der Wirkungsbereich *ökonomischer Instrumente* ist vermutlich weit größer als bisher meist angenommen wird. In den Industrieländern erscheint bei zunehmender Verknappung, anhaltender Verschmutzung und verbreiteter Vergeudung des Wassers eine proaktive Wasserpreispolitik angebracht, d.h. die systematische Anwendung von Gebühren und Abgaben und die Abschaffung verbrauchsfördernder Subventionen. Das Verursacherprinzip der Umweltpolitik sollte jedenfalls auch auf eine Wasserstrategie übertragen werden, und das bedeutet: Wasserentnahmeentgelte als Ressourcensteuer, Vollkostenrechnung bei der Wassernutzung, fühlbare Abwasserabgaben und strikte Haftung in Fällen der Wasserverschmutzung.

  Die Anwendung ökonomischer Instrumente in der Wasserpolitik kann bei geeigneter Formulierung mehreren Zielen zugleich dienen: der Nachhaltigkeit der Wassernutzung, der Prävention der Wasserverschmutzung und dem sorgfältigeren Umgang mit Wasser. Die eigentliche Herausforderung dürfte allerdings darin bestehen, sinnvolle Verbindungen zwischen solchen ökonomischen Instrumenten, einem ökologisch angepaßtem Verhalten, der Wiederbelebung verschütteter kultureller Traditionen und den konventionellen regulativen Instrumenten der Umweltpolitik (wie Standards und Mengenzuweisungen) zu finden.

  Die *regulativen Instrumente*, die sich auf die Qualität von Wasser und Abwasser beziehen, bedürfen aber ihrerseits der Überprüfung. Während in den Industrieländern mehr Sorgfalt auf die Einhaltung hoher Standards (z.B. EG-Trinkwasserrichtlinie) gelegt werden muß, hat in den Entwicklungsländern Wasserqualität bisher noch einen zu geringen politischen Stellenwert, mit entsprechend hohen gesundheitlichen Risiken. Nicht zuletzt macht die Nichteinhaltung von Mindeststandards über den Weg der möglichen Seuchenausbreitung aktive Wasserpolitik zu einem globalen Thema.

- *Institutionen:* Ein effektives institutionelles Arrangement zur nachhaltigen Nutzung der Wasserressourcen erfordert Bewußtsein, Wissen und finanzielle Mittel. Diese Faktoren sind in der Welt, in Nord und Süd, höchst ungleich verteilt. Daher sind *Wissenstransfer*, *Technologietransfer* und *Finanztransfer* notwendige Elemente einer globalen Wasserstrategie.

  Wissens- und Technologietransfer sind dann erfolgreich, wenn sie dazu führen, daß mehr Menschen in möglichst kurzer Zeit befähigt werden, die gegebenen Probleme des Wassermanagements selbständig zu lösen. Die Institutionen der bilateralen und multilateralen Entwicklungshilfe

sollten sich hierfür finanziell stärker engagieren, den Anteil der Mittel für Wasserprojekte entsprechend erhöhen und hierfür konkrete zeitliche Vorgaben formulieren.

Ein besonderes Problem stellt das *kooperative Wassermanagement* in grenzüberschreitenden Flußeinzugsgebieten dar, wo Fragen des Wasserzugangs, der quantitativen Wasserzuweisung und der Wasserqualitätskontrolle bestehen, die befriedigend nur gelöst werden können, wenn "gemeinsame Interessen" formuliert und verfolgt werden. Rund die Hälfte aller Flußeinzugsgebiete der Welt umfaßt mehrere Staaten, über 35 % der Weltbevölkerung sind in ihrer Trinkwasserversorgung abhängig von multinational genutzten Gewässern. Bei solchen Größenordnungen und angesichts potentiell zunehmender Nachfrage wird die Vermittlung erfolgreicher Managementmodelle immer wichtiger. Der Beirat ist der Auffassung, daß die Erfolge der Rheinkommission und des ECE-Übereinkommens zum Schutz und zur Nutzung grenzüberschreitender Wasserläufe für zahlreiche Flußeinzugsgebiete der Welt bedeutend sein können und regt an, diese Erfahrungen als Beitrag zu einer globalen Wasserstrategie in die Diskussion einzubringen.

Auf der globalen Ebene besteht bisher nur ein rudimentärer institutioneller Rahmen für eine zukünftige Wasserstrategie. Das UN-Sekretariat für Wasserressourcen wurde 1978 gebildet, um die Aktivitäten der verschiedenen UN-Institutionen zu koordinieren. Nach Formulierung der "Internationalen Trinkwasser-und Sanitär-Dekade" 1980 wurde eine Steuerungsgruppe eingesetzt, in der elf UN-Institutionen, die sich mit Wasserfragen beschäftigen, vertreten sind. Verbesserungen des globalen Wassermanagements sind also ohne Zweifel angezeigt und empfehlenswert.

Während gute Argumente zugunsten umfassender Ansätze einer globalen Wasserstrategie vorgebracht werden können, spricht jedoch vieles dafür, daß die Vorgehensweise nicht zu komplex sein sollte. Die vier zentralen Handlungsfelder einer solchen zukünftigen Strategie (Wassernachfrage, Wasserangebot, Gewässerschutz, Katastrophenmanagement) wurden oben beschrieben. Um die damit benannten Aufgaben zu bewältigen, ist einerseits ein verstärktes Engagement der zuständigen Institutionen, andererseits eine verbesserte *internationale Kooperation* erforderlich. Die Entwicklungsländer müssen selbst mehr finanzielle und personelle Mittel für ihre Wasserprobleme bereitstellen (und gleiches gilt auch für einzelne Industrieländer); aber sie werden diese Aufgaben nicht allein bewältigen können. Finanztransfer muß also Bestandteil einer globalen Wasserstrategie sein (siehe dazu auch AGENDA 21, Kapitel 18). Ob hierzu auch neue internationale Institutionen vorzuschlagen

sind, will der Beirat in einem künftigen Gutachten näher prüfen. Sinnvoll erscheint aber schon jetzt eine "Wasserpartnerschaft" zwischen der Bundesrepublik Deutschland und zwei oder drei Entwicklungsländern mit unterschiedlichen Problemen in Form eines innovativen Pilotvorhabens.

Stichworte zur historischen Entwicklung politischen Handelns

Einen Überblick über die historische Entwicklung politischen Handelns im Bereich Wasser- und Gewässerschutz findet sich in Schua (1981). Hier sollen die wichtigsten Schritte stichwortartig zusammengefaßt werden.

National: Codex Hammurabis; Griechische Wasserordnung; Römische Wasserpolitik; Gewerbeordnung Mittelalter; Preußen; Naturschutz 19. Jh.; WHG und Folgeregelungen.

International: Internationale Abstimmungen in Flußeinzugsgebieten; Wasser-Charta des Europarates vom 6. Mai 1968; EG-Gesetze und Wasserverbandspolitik; UN-Aktivitäten: Empfehlung 51 des "Aktionsplan" der Stockholm-Konferenz von 1972, Report on Freshwater (Januar 1991) des Vorbereitungskommitees der UNCED-Konferenz in Rio de Janeiro (Prepcom), Dublin-Konferenz 1992, Kapitel 18 der AGENDA 21.

Gewichtung

Es liegt auf der Hand, daß hinsichtlich der Ziele, Instrumente und Institutionen einer globalen Wasserstrategie unterschiedliche Grundpositionen bezogen und - daraus folgend - unterschiedliche Prioritäten des Handelns abgeleitet werden können. Daß sich die Konkretisierung der Ziele, Instrumente und Institutionen von Land zu Land und Region zu Region anders darstellt, wurde bereits eingangs schon betont. Es wird Länder und Regionen geben, in denen die Ausweitung des Wasserangebots im Vordergrund steht, in anderen wird Nachfragesteuerung Priorität erhalten. Andererseits ist unverkennbar, daß sich im historischen Ablauf der Diskussion der Wasserproblematik eine Schwerpunktverlagerung vollzogen hat. Während in den 80er Jahren, insbesondere im Rahmen der "Internationalen Trinkwasser- und Sanitär-Dekade", die Ausweitung des Wasserangebots eindeutig im Vordergrund stand, hat sich seither in der internationalen Fachdiskussion eine Fokussierung auf die Nachfrageseite herausgebildet (*wise use* bzw. *demand side management*), ohne daß diese beiden als sich ausschließende, polare Grundpositionen verstanden werden müssen (Postel, 1992; Water Quality 2000, 1992). Besser paßt hier das Bild eines Kontinuums der Diskussion, zu dem die bedrohlich zunehmende Verschmutzung der Wasservorräte hinzugekommen ist. Dementsprechend ist es schwierig, eine Gewichtung im Sinne einer strikten Prioritätenfolge in der Behandlung der globalen Wasserprobleme vorzuschlagen. Wichtig aber ist dem Beirat, deutlich zu machen, daß die folgenden drei Elemente essentiell sind und möglichst konsistent bearbeitet werden sollten:

1. Sicherung der Verfügbarkeit an *sauberem Trinkwasser:* Zugang zu qualitativ und quantitativ ausreichendem Wasser für alle Menschen und Wiederherstellung bzw. Schutz intakter Ökosysteme in Rolle im hydrologischen Kreislauf.

2. Prävention und Kuration der *Wasserverschmutzung:* Wasserhygiene in den Großstädten der Entwicklungsländer, Altlastensanierung in den Industrieländern, Stoffsubstitution in Industrie und Gewerbe (z.B. wassergefährdende Produkte der Chlorchemie), ökologischer Landbau.

3. Invention und Innovation des *Wassersparens:* Effiziente Wassernutzung in den Haushalten, Senkung des Wasserverbrauchs bzw. Erhöhung der "Wasserproduktivität" in Industrie und Landwirtschaft; entsprechender Finanz- und Technologietransfer, insbesondere für lokal angepaßte Wasserversorgung und Abwasserentsorgung, für Kreislaufführung in der Industrie und effiziente Bewässerungsmethoden in der Landwirtschaft.

Forschungsbedarf

Der Bedarf an Erklärungs- und an Handlungswissen erscheint dem Beirat beim Wasser besonders hoch. Der alltägliche Umgang mit Wasser muß weltweit stärker an die lokalen Gegebenheiten angepaßt werden ("nachhaltige Wassernutzung"). Hierfür fehlt es bisher an geeigneten Lernmöglichkeiten und Vorbildern. Auch das Wissen um die Möglichkeiten zur Vermeidung von Wasserproblemen erscheint grundsätzlich unzureichend. Dies gilt nicht nur für die Entwicklungsländer sondern auch für viele Industrieländer. Folgende Forschungsthemen erachtet der Beirat daher als dringlich:

- *Statistische Grunddaten:* Wasserverfügbarkeit ermitteln; Wasserqualitätsstandards evaluieren; Wasserintensitäten festellen, und zwar sektoral, regional und produktbezogen ("Wasser-Ökobilanzen"); Wasserpreisstatistik verbessern; globale Erfassung und Beschreibung der Austauschprozesse zwischen Biosphäre und Hydrosphäre ("Wasserkreislauf").

- *Wassereffizienz:* Techniken mit geringem Wasserverbrauch für Trinkwasserversorgung, Bewässerung und industrielle Produktion entwickeln und verbreiten.

- *Wassersparen:* Nachhaltiger sparsamer Umgang mit Wasser; entsprechende Ziele und Methoden entwickeln und Institutionen einrichten; Kapazitäten für ökologisches Ressourcenmanagement schaffen.

- *Wasserkultur:* Kulturelle Werte mit Wasserbezug wiederentdecken und pflegen; Erfahrungswissen und praktische Lernmöglichkeiten verbreiten; wasserbezogene Umwelterziehung fördern.

- *Umweltflüchtlinge:* Zusammenhang zwischen Wasserknappheit und Migrationsentscheidung analysieren und entsprechende Steuerungsmöglichkeiten entwerfen.

- *Nationale Wasserpolitik:* Vergleichende Evaluation von Beispielen optimaler Wasserpolitik: Ziele, Instrumente (Preis- und Mengenlösungen) und Institutionen (private und kollektive Wasserrechte, Regionalverbände); öffentlichen Wasserdiskurs initiieren.

- *Internationale Wasserpolitik:* Grenzüberschreitende Wassermanagement-Erfahrungen analysieren und entsprechende Konfliktlösungen vermitteln; Pilotprojekt "Wasserpartnerschaft" zwischen der Bundesrepublik Deutschland und zwei oder drei Entwicklungsländern vorbereiten und begleiten; globale Wasserdiplomatie entwickeln; die in der Bundesrepublik vorhandenen Ansätze, wie Niederschlagsklimatologie, Welt-Abflußdaten-Register usw. in ein zu gründendes internationales Wasserinstitut einbringen.

1.4 Lithosphäre/Pedosphäre

Kurzbeschreibung

Der feste äußere Bereich der Erde wird als *Litho- oder Gesteinssphäre* bezeichnet. Diese umfaßt die kontinentalen und ozeanischen Krusten und Teile des oberen Erdmantels. Die Lithosphäre mit ihrer gewaltigen Masse wird in ihrer Dynamik durch den Menschen kaum verändert. Sie dient jedoch als Rohstoffquelle (Kohle, Erdöl, Erdgas, Erze, Kies, Sand, Grundwasser usw.) und wird als Deponie für Abfälle aller Art benutzt. Die äußeren Kontaktzonen der Lithosphäre zu den anderen Sphären stellen dagegen einen empfindlichen Bereich dar, der für Lebewesen von großer Bedeutung ist und der von den Menschen stark verändert werden kann: Es handelt sich um *Böden* und *Sedimente*.

Böden bedecken wie eine dünne Haut große Teile der eisfreien Oberflächen der Kontinente. In einer Zone, die wenige Zentimeter bis mehrere Meter mächtig sein kann, durchdringen sich die Litho-, Hydro-, Atmo- und Biosphären und bilden die *Pedo- oder Bodensphäre* (Abbildung 5). So definiert, stellen Böden *Struktur- und Funktionselemente von terrestrischen Ökosystemen* dar.

Böden weisen keine einheitlichen Eigenschaften auf, sondern bilden vielmehr als *dreidimensionale Landschaftsausschnitte* ein buntes Mosaik von verschiedenen Typen, in denen sich die vielfältigen Kombinationsmöglichkeiten der sie konstituierenden Faktoren und Prozesse widerspiegeln. Je nach den Standortbedingungen können diese Mosaiksteine Ausdehnungen von wenigen Quadratmetern bis zu Quadratkilometern aufweisen. Die Bodenvielfalt trägt maßgeblich zur Diversität terrestrischer Ökosysteme und ihrer Lebensgemeinschaften sowie zur Prägung von Landschaften bei.

Sedimente sind die den Böden entsprechenden biotisch aktiven Zonen im aquatischen Bereich. Sie werden daher häufig auch als Unterwasserböden bezeichnet, obwohl sie aufgrund des Fehlens der atmosphärischen Komponente weitgehend sauerstofffreie Zustände aufweisen. Wegen ihrer großen Bedeutung für die biogeochemischen Stoffkreisläufe und weil in Sedimenten ähnliche Prozesse wie in den Böden ablaufen, werden sie in diesem Kapitel mit behandelt.

Die Bedeutung der Böden und Sedimente für Pflanzen, Tiere, Mikroorganismen und Menschen sowie für den Energie-, Wasser- und Stoffhaushalt läßt sich anhand von drei übergeordneten Funktionen zusammenfassen:

Lebensraumfunktion

Böden sind Lebensraum und Lebensgrundlage für eine Vielzahl verschiedener Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen, auf deren Stoffumsatz die Regelungsfunktion und die Produktionsfunktion von Böden beruhen. Bodenorganismen

sind in ihrer Gesamtheit die Träger für den Aufbau, Umbau und Abbau von Stoffen in Böden. Aufgrund ihrer Vielfalt beeinflussen sie die Stabilität von Ökosystemen, indem sie toxische Stoffe abbauen, Wuchsstoffe produzieren und ein Fließgleichgewicht zwischen Aufbau- und Abbauprozessen erzeugen. Böden sind die Grundlage für die Primärproduktion terrestrischer Systeme und somit Lebensgrundlage auch für den Menschen, siehe Nutzungsfunktion.

Regelungsfunktion

Hierzu gehören Transport, Transformation und Akkumulation von Stoffen. Böden vermitteln über vielfältige Prozesse den Stoffaustausch zwischen Hydrosphäre und Atmosphäre sowie Nachbarökosystemen. Die Regelungsfunktion umfaßt alle abiotischen und biotischen bodeninternen Prozesse, die durch stoffliche Einträge und nichtstoffliche Einflüsse ausgelöst werden. Hierzu gehören als Teilfunktionen das Puffervermögen für Säuren, das Speichervermögen für Wasser-, Nähr- und Schadstoffe, die Recyclierung von Nährstoffen, die Detoxifikation von chemischen und biotischen Schadstoffen und -erregern sowie das Ausgleichsvermögen für Stoffe und Energie.

Nutzungsfunktion

Menschen nutzen Böden und deren Funktionen zur Befriedigung ihrer Bedürfnisse. Dies läßt sich in den Nutzungsfunktionen von Böden zusammenfassen.

Böden sind Standortkomponenten der land- und forstwirtschaftlichen Produktion (Produktionsfunktion). Hierunter ist die Eigenschaft von Böden zu verstehen, Primärproduzenten (grüne Pflanzen) mit Wasser und Nährstoffen zu versorgen und ihnen als Wurzelraum zu dienen. Dies gilt auch und gerade unter dem Aspekt der Bodenbewirtschaftung in der Land- und Forstwirtschaft mit dem Ziel, für Menschen verwertbare Biomasse zu erzeugen (Nahrungs- und Futtermittel, nachwachsende Rohstoffe).

Darüber hinaus nutzen die Menschen Böden in vielfältiger Weise. Zum Beispiel:

- als Rohstoffgewinnungsstätten (Produktionsfunktion)
- als Siedlungs-, Verkehrs-, Versorgungs- und Erholungsflächen (Trägerfunktion)
- als Flächen für industrielle Nutzungen (Trägerfunktion)
- als Flächen für die Entsorgung von Abfällen (Trägerfunktion)
- als Genpool (Produktions- und Informationsfunktion)
- als Indikator für die Produktivität (Informationsfunktion)
- als Archiv für die Natur- und Kulturgeschichte (Kulturfunktion)

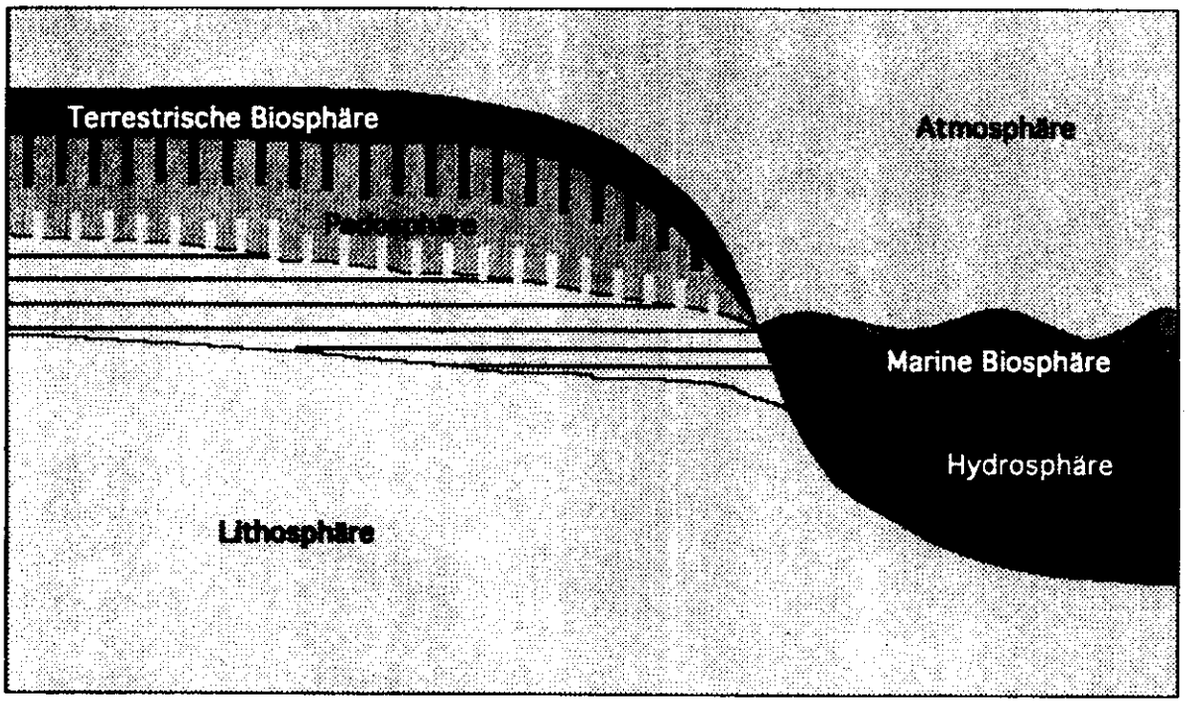


Abbildung 5: Verknüpfung der Pedosphäre (Böden) mit den übrigen Natursphären

Böden sind verletzbare Systeme

Böden sind offene und damit wandelbare Systeme. Sie tauschen mit ihrer Umwelt Energie, Stoffe und genetische Informationen aus und sind somit auch für alle Formen externer Belastungen anfällig. Dieser Umstand macht Bodendegradierung zu einem globalen Umweltproblem. Dabei auftretende *Veränderungen laufen häufig sehr langsam ab oder sind schwer erkennbar.* Sind Schäden jedoch erst aufgetreten, können diese oft nur in sehr langen Zeiträumen ausgeglichen werden. Bodenverluste sind somit als irreversibel anzusehen, wenn man keine geologischen Zeitmaßstäbe zugrunde legt.

Von den Böden der 130,69 Mio km^2 umfassenden eisfreien Landoberfläche der Erde weisen heute bereits 19,64 Mio km^2, das sind *17 %, deutliche Degradierungserscheinungen* auf, die durch den Menschen verursacht wurden. Dies ist das Ergebnis einer umfassenden Untersuchung, die im Rahmen des Umweltprogramms der Vereinten Nationen (UNEP) vom Internationalen Bodendokumentations- und Informationszentrum (ISRIC) durchgeführt wurde (Oldeman et al., 1991). Mit 56 % hat daran die *Erosion durch Wasser* den größten Anteil, gefolgt von der *Winderosion* mit 28 %, der *chemischen Degradierung* mit 12 % und der *physikalischen Degradierung* mit 4 %. In diesen Zahlen sind Degradierungen von Waldböden und latente Belastungen, die sich über längere Zeiträume akkumulieren, sowie Veränderungen der Lebensgemeinschaften von Bodenorganismen noch nicht enthalten.

Aus der Erkenntnis, daß Böden eine wichtige Rolle in terrestrischen Ökosystemen spielen, daß Reserven begrenzt sind und nur ein verhältnismäßig kleiner Anteil der Böden vom Menschen ackerbaulich genutzt werden kann, ergibt sich eine *hohe Schutzwürdigkeit*[3] *von Böden* und der in ihnen und von ihnen lebenden Organismen. Sollen Böden in ihrer gegebenen Struktur und Funktion erhalten werden, muß sichergestellt sein, daß sich die externen Belastungen im Bereich endogener Kompensations- oder Reparaturmöglichkeiten bewegen. Für die Bewertung von Belastungen, wie sie im Zusammenhang mit den globalen Umweltveränderungen auftreten, gilt es daher, die *Belastbarkeit von Ökosystemen und ihrer Böden* zu ermitteln. Hierfür sind Typisierungen vorzunehmen und Belastungsgrenzen und Leitparameter festzulegen. Durch entsprechende Maßnahmen ist schließlich dafür zu sorgen, daß diese nicht überschritten werden. Aufgrund der komplexen Zusammenhänge und der langsamen Reaktion von Böden ist die Definition der Belastbarkeit zum Teil jedoch äußerst schwierig. Daher muß dem *Vorsorgeprinzip* bei der Erhaltung von Böden grundsätzlich ein hoher Stellenwert eingeräumt werden.

[3]Schutzwürdig sind aus anthropozentrischer Sicht alle diejenigen Güter, die durch menschliche Aktivität in ihren Funktionen oder ihrer Nachhaltigkeit beeinträchtigt werden.

Ursachen

Räumliche Verschiedenheit von Bodendegradierungen

Degradierungen von Böden sind zunächst natürliche Prozesse. Durch Verwitterung sowie die Zu- und Abfuhr von Stoffen mit dem Wasser und der Luft findet eine ständige Änderung der Böden statt. Hier ist wesentlich, daß, von einigen Ausnahmen abgesehen, diese natürlichen Prozesse mit sehr *niedrigen Raten*, d.h. äußerst langsam ablaufen. Dadurch war und ist es möglich, daß sich Organismengesellschaften an die jeweilige Situation anpassen und in vielen Fällen den Degradierungsprozeß bremsen können. Die dabei entstehenden terrestrischen Ökosysteme, von denen die Böden einen Teil darstellen, erweisen sich unter den natürlich ablaufenden Schwankungen der Randbedingungen (Witterung, Klima) als relativ, d.h. über Dekaden oder Jahrhunderte, stabil.

Diese Situation hat sich in den vergangenen Jahrzehnten zum Teil drastisch verändert. Für die exponentiell wachsende Weltbevölkerung müssen nicht nur die menschlichen Grundbedürfnisse nach Nahrung, Kleidung, Wohnung und Heizmaterial befriedigt werden, was nach wie vor für große Teile der Erdbevölkerung nicht gewährleistet ist. In zunehmendem Maße sind es auch "gehobene Ansprüche" der Menschen, die nur durch industrielle Tätigkeiten sowie Dienstleistungen erfüllt werden können. Dies führt zu gesteigerten Aktivitäten, die die Böden direkt oder indirekt belasten und zur beschleunigten Degradierung führen können.

Auf *lokaler Ebene* sind es überwiegend Aktivitäten, die mit der *Ausdehnung und Intensivierung der Bodennutzung* zusammenhängen, wie die Waldrodung, der Umbruch von Grasland, die Entwässerung von Feuchtgebieten oder die Bewässerung von Trockengebieten, die Mechanisierung und Chemisierung der Land- und Forstwirtschaft sowie die Übernutzung von Äckern, Weiden und Wäldern, die direkt auf die Böden einwirken und teils zu positiven, überwiegend aber negativen Veränderungen führen. Bezeichnend hierfür ist die Tatsache, daß der Zugewinn an Ackerfläche aufgrund ständiger Inkulturnahme von Böden global gesehen durch den Verlust infolge von Bodenzerstörungen wieder zunichte gemacht wurde. Dies führte zu dem Ergebnis, daß die Ackerfläche der Welt mit ca. 11 % der Gesamtfläche in den vergangenen drei Jahrzehnten trotz ständiger Waldrodungen annähernd konstant geblieben ist bzw. sogar etwas abgenommen hat (World Resources Institute, 1990). Diese Entwicklung ist äußerst problematisch, weil die Zuwachsmöglichkeiten immer begrenzter werden.

Zu den lokalen Ursachen von Veränderungen zählt auch der zunehmende Anbau von Monokulturen bis hin zum großflächigen Anbau genetisch einheitlicher Sorten. Damit verbunden ist eine Reduktion der biologischen Vielfalt bis zur Ökotop- und Ökochorenebene. Dies hat nicht nur Einfluß auf die Organismengesellschaften selbst, sondern auch auf die Regelungs- und Lebensraum-

funktionen von Böden und damit auch auf die langfristige Nutzbarkeit und den Erhalt dieser Ressourcen.

Daneben sind Zerstörungen und Belastungen von Böden zu nennen, die sich aus der Deposition oder *Ausbringung toxischer Substanzen*, der *Versiegelung von Oberflächen* und der *Zerschneidung von Flächen* durch Straßen und Siedlungen ergeben. Diese Belastungen sind häufig mit der Intensivierung des sekundären und tertiären Wirtschaftssektors verknüpft und spielen daher in den Industrienationen und in den Ballungsgebieten eine große Rolle.

Als Ursachen auf *regionaler Ebene* sind die gebiets- und grenzüberschreitenden *Emissionen* von *Säurebildnern*, *Nährstoffen* und *toxischen Substanzen* anorganischer und organischer Natur zu nennen. Die zunehmende *Urbanisierung* und die damit verbundene räumliche Entkopplung der Nahrungsmittelproduktion und -konsumtion führt ebenfalls zu Belastungen. Exportierte Biomassen führen nicht nur zur Nährstoffverarmung von Böden, sondern auch zur Versauerung und zur Freisetzung toxischer Ionen. Damit ist eine großflächige Abnahme der Produktivität verbunden. In Ballungsgebieten dagegen führt das Überangebot an Nährstoffen zu Entsorgungsproblemen, zur Eutrophierung von Böden und Gewässern sowie zur Belastung der Atmosphäre. *Wasserbauliche Maßnahmen* wie die Regulierung von Flüssen, der Bau von Staudämmen, die Absenkung bzw. die Anhebung des Grundwassers und der Deichbau sowie die Be- und Entwässerung greifen in den Wasserhaushalt von Böden ein. Daraus können Belastungen resultieren, die zur Degradierung der Böden führen. Ein wachsendes Problem, auch auf regionaler Ebene, stellt die *Ausdehnung* von Siedlungs-, Produktions- und Verkehrsflächen dar.

Auf *globaler Ebene* treten Veränderungen in Böden auf, die durch die *Veränderungen des physikalischen und chemischen Klimas* verursacht werden. Zum einen können veränderte Temperaturen und Niederschläge durch Beschleunigung oder Reduktion von Umsetzungs- und Transportprozessen direkt auf Böden wirken, zum anderen aber auch indirekt über die Vegetationsdecke durch Veränderungen der Bedeckung und der Biomasseproduktion. Auch erhöhte UV-Strahlung infolge des Ozonabbaus und erhöhte CO_2-Konzentrationen der Atmosphäre können direkt und indirekt auf Böden wirken. Desweiteren kann ein mit Klimaänderungen einhergehender *Anstieg des Meeresspiegels* die Strukturen und Funktionen von Böden in großen Arealen beeinflussen, ebenso wie klimabedingte *Artenwanderung* und *Artenvernichtung*. In diesem Zusammenhang muß auch die durch den Menschen verursachte Verbreitung standortfremder Arten genannt werden, die Ökosysteme und damit auch die Böden drastisch verändern können. Genannt seien hier die weltweite Verbreitung des schnell wachsenden Eukalyptusbaumes und die Einschleppung eines die Regenwürmer verdrängenden Egels in Irland und England. Hierbei handelt es sich um eine Erscheinung, die aufgrund erhöhter Mobilität und durch Überwindung natürlicher Barrieren eine zunehmende Tendenz aufweist.

Böden unterliegen *wirtschaftlichen Interessen* (Nutzungsfunktion), so daß sich für viele der genannten Ursachen auch enge ökonomische Zusammenhänge ergeben. Die mit Böden verbundenen Eigentumsrechte werden sehr oft ohne Rücksicht auf langfristige Ertragsfähigkeit unter *kurzfristigen* Nutzenorientierungen verwendet. Verstärkt wird dieser Effekt durch fehlende oder mangelnde Planungs- und Bewirtschaftungsstrukturen oder durch staatliche Subventionsprogramme, die Langzeiteffekte wie Überdüngungen und Schadstoffanreicherungen nicht oder nicht hinreichend berücksichtigen.

Auswirkungen

Die oben genannten Ursachen können zur Degradierung von Böden auf lokaler, regionaler und globaler Ebene führen. Mögliche negative Veränderungen, die dabei in Böden auftreten, sind in der Tabelle 10 zusammengefaßt. Generell wird zwischen der Degradierung, die mit einer Verlagerung von Bodenmaterial verbunden ist, und der Degradierung in Form bodeninterner physikalischer, chemischer und biotischer Bodeneigenschaften unterschieden. Das Ausmaß der bisher vom Menschen verursachten Bodendegradierung ist in der Tabelle 11 dargestellt.

Alle aufgeführten Degradierungen können die einleitend aufgeführten Funktionen von Böden kurz- oder langfristig beeinträchtigen, wobei die Wirkungen reversibel oder irreversibel sein können. Die Auswirkungen sind in einer Vielzahl zusammenfassender Arbeiten beschrieben worden (Andreae and Schimel, 1989; Arnold et al., 1990; Bouwman, 1989; Scharpenseel et al., 1990; Sombroek, 1990; Kimball, 1990). Die wichtigsten Ergebnisse sind nachfolgend zusammengefaßt.

Lebensraumfunktion

Böden stellen den Lebensraum für eine große Zahl von Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen dar. Im Zuge der Evolution hat sich in Böden mit den darin enthaltenen Nahrungsnetzen ein nahezu perfektes Abfallverwertungssystem entwickelt. Böden können somit auch als komplexe Bioreaktoren angesehen werden. In den Böden terrestrischer Ökosysteme kommt es unter aeroben Bedingungen nicht zu einer permanenten Anreicherung von organischer Substanz. Es gilt diese "Leistungen" der Organismengesellschaften in Böden zu erhalten und die "Erfahrung" zu nutzen, die die komplexen und sehr gut an den Standort angepaßten Lebensgemeinschaften hinsichtlich der effektiven Nutzung von Energieträgern und der Recyclierung knapper Ressourcen gemacht haben. Dies gilt auch bei der Beseitigung von Abfällen durch den Menschen. Weiter sollten die vielfältigen und häufig noch unentdeckten Stoffwechselleistungen von Bodenorganismen und die ihnen zugrunde liegenden genetischen Informationen mehr als bisher durch den Menschen genutzt werden (Böden als Genpool). Beispiele stellen die Antibiotika und Enzyme für den Abbau toxischer Substanzen dar.

Verlagerung von Bodenmaterial	
Wassererosion	***Winderosion***
Verlust von Oberbodenmaterial	Verlust von Oberbodenmaterial
Deformation der Oberflächen (Rinnen, Gullies, Täler)	Schädigung der Vegetation
	Deformation der Oberflächen (Senken, Wehen, Dünen)

Bodeninterne Umwandlungen		
Physikalische Prozesse	***Chemische Prozesse***	***Biotische Prozesse***
Versiegelung und Verkrustung von Oberflächen	Nährstoffverluste (Biomasseexport, Auswaschung)	Wandel der Biozönosenstruktur
Verdichtung (Bearbeitung)	Versalzung (Bewässerung)	Wandel der Biozönosenfunktion
Strukturwandel (Dispersion, Humusabbau)	Versauerung (Deposition, Biomasseexport)	Entkoppungen zwischen Zersetzungs- und Produktionsprozessen
Wasserstau (Verdichtung, Bewässerung)	Toxifikation (Schwermetalle, Organika)	
Austrocknung (Drainage)	Red/Ox-Veränderungen	
Sedimentation	Abbau der organischen Substanz	

Tabelle 10 : Prozesse der Bodendegradierung

	Degradierte Gesamtfläche (Mio km²)	% der Landfläche	Ursache der Degradation: Wassererosion (Mio km²)	%	Winderosion (Mio km²)	%	Chem. Degradation (Mio km²)	%	Phys. Degradation (Mio km²)	%
Welt	**19,64**	**17**	**10,94**	**56**	**5,48**	**28**	**2,39**	**12**	**0,83**	**4**
Degradierung:										
- *Leicht*	7,49	6	3,43	17	2,69	14	0,93	5	0,44	2
- *Mittel*	9,10	8	5,27	27	2,53	13	1,03	5	0,27	1
- *Stark*	2,96	3	2,17	11	0,24	1	0,42	2	0,12	1
- *Extrem*	0,09	<1	0,07	<1	0,02	<1	0,01	<1	<1	<1
Degradierung in einzelnen Kontinenten:										
Afrika	4,94	22	2,27	46	1,87	38	0,62	12	0,19	4
Nord/Mittelamerika	1,58	8	1,06	67	0,39	25	0,07	4	0,06	4
Südamerika	2,43	14	1,23	51	0,41	17	0,70	29	0,08	3
Asien	7,48	20	4,40	59	2,22	30	0,73	10	0,12	2
Europa	2,19	23	1,15	52	0,42	19	0,26	12	0,36	17
Ozeanien	1,03	13	0,83	81	0,16	16	0,01	1	0,02	2

Tabelle 11: **Von Menschen verursachte Bodendegradierung**
(Oldeman et al., 1991)

Drucksache 168/94

Die Synchronisation zwischen Zersetzung von Biomassen und der damit verbundenen Freisetzung von Nährstoffen und der Aufnahme durch Pflanzen bei der Produktion muß aus Gründen der Nachhaltigkeit erhalten bleiben. Eingriffe infolge von Klima- und Nutzungsänderungen, die das Wirkungsgefüge der Organismen stören und zur unkontrollierten Stoffakkumulation oder -freisetzung führen (chemische Zeitbomben), müssen vermindert oder so gestaltet werden, daß die räumliche und zeitliche Entkopplung der beiden Hauptprozesse in Ökosystemen, Produktion und Zersetzung minimal wird.

Die räumliche Struktur von Böden muß erhalten bleiben, damit die Habitatsansprüche der komplexen Organismengesellschaften erfüllt werden. Dies setzt voraus, daß der Abtrag von Bodenmaterial (Erosion) und die Verdichtung vermieden wird.

Die Funktion des Bodens als Lebensraum ist bisher überwiegend im Hinblick auf die Pflanzen und deren Wasser- und Nährstoffversorgung untersucht. Die Bedeutung der Organismengesellschaften in Böden für andere Prozesse ist noch wenig verstanden. Einflüsse der globalen Klimaveränderungen sind daher schwer abzuschätzen. Dies gilt auch für die Eingriffe, die der wirtschaftende Mensch durch Veränderung seines eigenen Lebensraumes an Böden vornimmt.

Wissensbedarf: Es müssen verläßliche Antworten auf folgende Fragen gegeben werden:

- Welche Umweltfaktoren und Bodenfaktoren beeinflussen die Biodiversität in Böden ?
- Was sind die strukturellen und funktionellen Konsequenzen der Biodiversität in Böden ?
- Welche Rolle spielt die biotische Diversität für die Stabilität der Böden und Ökosysteme ?
- Welche Bedeutung hat die Heterogenität von Böden für die Funktion von Landschaften ?
- Auf welchen Skalen ist eine Integration von Prozessen möglich ?

Regelungsfunktion

Die Regelungsfunktion von Böden beschränkt sich, wie bereits erwähnt, nicht nur auf bodeninterne Prozesse, sondern sie umfaßt auch den Energie- und Stoffaustausch mit Nachbarsystemen wie der Atmosphäre und der Hydrosphäre (Grundwasser, Gewässer).

Böden beeinflussen den Austausch von Strahlung und fühlbarer Wärme sowie die Reflexion der Sonnenstrahlung.

Die Oberflächenbeschaffenheit von Böden bestimmt den Transfer von Wärme und die Reflexion der Sonnenstrahlung. Dunkle, rauhe oder offene Oberflächen

nehmen viel Wärme auf. Der Transport und die Speicherung der Wärmeenergie hängt von einer Vielzahl von Bodeneigenschaften ab. Helle, verkrustete oder salzbedeckte Oberflächen mit geringer oder fehlender Pflanzendecke haben dagegen eine hohe Rückstrahlung (Albedo). Bodennutzung und das zeitweise Entfernen der Vegetation wirken sich über diese Prozesse unmittelbar auf den Energieumsatz aus.

Wissensbedarf: Eine standardisierte Erfassung von Bodeneigenschaften bei der Bodenkartierung ist notwendig, um von Satelliten erfaßte Albedowerte oder Wärmeflüsse überprüfen zu können. Das ist erforderlich, um auf globaler Ebene von Menschen verursachte Veränderungen in Klimamodelle einzubringen. Mit Hilfe satelliten- oder flugzeuggestützter Erderkundung müssen auf regionaler und globaler Ebene die physikalischen Eigenschaften der Bodenoberflächen erfaßt werden, um darauf aufbauend Szenarien für mögliche Veränderungen zu studieren (Anwendung der Fernerkundung).

Böden spielen als Puffersystem eine wichtige Rolle im Wasserkreislauf der Erde.

Die Oberflächeneigenschaften von Böden bestimmen auch die Aufteilung des Niederschlags zwischen Infiltration und Oberflächenabfluß. Einige Böden haben offene, krümelige Oberflächenstrukturen und weisen einen hohen Anteil an Infiltration auf. Andere bilden Krusten und neigen zur Verschlämmung und Versiegelung. Bei ihnen dominiert der Oberflächenabfluß und damit verbunden die Erosion. Die letztgenannten Eigenschaften können die Evaporation und den Oberflächenabfluß (Erosion) erhöhen oder durch Verhinderung der Keimung zu mangelnder Bedeckung durch Vegetation führen. Dadurch kann der Wasserhaushalt von Landschaften stark verändert werden.

Textur- und Struktureigenschaften von Böden sowie deren vertikale und laterale Anordnung und Variation bestimmen die hydraulische Leitfähigkeit und damit den Verbleib und die Dynamik von Sickerwasser in Landschaften. Die bodeninternen Eigenschaften bestimmen auch die Speichereigenschaften für Wasser, und damit die Wasserversorgung der Vegetationsdecke. In Abhängigkeit von der Porosität und Lagerungsdichte, dem Gehalt an Ton und Humus sowie der Art der Tonminerale, der Struktur, der Horizontfolge, Bodentiefe und Durchwurzelbarkeit kann die Speicherkapazität um den *Faktor 10* variieren. Daran geknüpft ist die Fähigkeit, Pflanzen in Trockenzeiten mit Wasser zu versorgen. Die Produktivität von Ökosystemen und die Zusammensetzung der Vegetationsgesellschaften werden maßgeblich von der Verfügbarkeit und Menge des gespeicherten Wassers beeinflußt.

Wissensbedarf: Die bisher vorliegenden punktuellen Messungen von hydraulischen Boden- und Vegetationseigenschaften müssen auf Landschaften übertragen werden, um später zu regionalen Aussagen zu gelangen. Wesentlich dabei

ist, daß es zur Verknüpfung bodengebundener Informationen mit denen der Fernerkundung kommt (Anwendung der Fernerkundung).

Böden sind wichtige Quellen oder Senken in biogeochemischen Kreisläufen des Kohlenstoffs, des Stickstoffs und des Schwefels. Dies hat direkten Einfluß auf die Dynamik der klimarelevanten Gase CO_2, CH_4 und N_2O.

Die organische Bodensubstanz von Böden stellt eine bedeutende Quelle und Senke für Kohlendioxid dar.

Die Menge an Kohlenstoff, die in Form von lebender Biomasse, Humus oder Holzkohle in den Böden der Welt gespeichert ist, übertrifft die Kohlenstoffmenge in der lebenden organischen Substanz der Vegetation um den *Faktor 2-3* (Post et al., 1992). Selbst in Regionen, in denen die Vegetationsdecke sehr dicht ist, z.B. in den tropischen Regenwäldern, ist unterirdisch immer noch so viel Kohlenstoff gespeichert wie oberirdisch in der Vegetationsdecke. Böden von Grasländern oder von Ackerflächen enthalten bis zu zehnmal mehr Kohlenstoff als die oberirdischen Pflanzenbestände (Abbildung 6 nach Goudriaan, 1990).

Die vorhergesagte globale Erwärmung aufgrund des Treibhauseffekts und die Veränderungen der Niederschlagsverteilung können zu einem reduzierten Vorrat von Boden-Kohlenstoff führen. Höhere CO_2-Konzentrationen können jedoch die Photosynthese erhöhen und dabei zur verstärkten Bildung organischer Substanz in Böden führen. Dies wird besonders bei den C3-Pflanzen der Fall sein, die den größten Teil der holzigen Pflanzen und der Kulturpflanzen stellen. Wenn Nährstoffe, Wasser, Temperatur und Strahlung *nicht limitierend* sind, kann eine Verdopplung der CO_2-Konzentration zu einer *Erhöhung der Biomasseproduktion* von mehr als *30 %* führen. Weiter kann dies auch zu einer bis zu *50 % effizienteren* Wassernutzung je Photosyntheseeinheit führen, da sich das Verhältnis der Transpiration zur CO_2-Aufnahme verschiebt. Der CO_2-Düngeeffekt stellt einen negativen Rückkopplungsprozeß durch erhöhte CO_2-Aufnahme der Pflanzen dar. Er könnte z.B. den CO_2-Anstieg kompensieren, welcher durch die zunehmende Entwaldung erwartet wird. Entsprechende Untersuchungen stehen allerdings noch aus. Wenn man nur an die Produktion landwirtschaftlicher Kulturpflanzen denkt und an die 10 Milliarden Menschen, die nach 2050 ernährt werden müssen, könnte der Düngeeffekt als positiv angesehen werden. Da bei höherer CO_2-Konzentration viele Holzpflanzen das Wasser wesentlich effizienter nutzen werden, ist ein Wachstum von Wäldern auch in Regionen denkbar, die gegenwärtig zu trocken sind. Dies sind allerdings nur zwei Aspekte, die nicht isoliert betrachtet werden dürfen. So müssen z.B. auch die Wirkungen mit einbezogen werden, die mit dem "Treibhauseffekt" verbunden sind, wie das Konkurrenzverhalten von Pflanzen innerhalb von Ökosystemen und die Wandermöglichkeit von

Vegetationsgesellschaften. Die daraus resultierenden ökologischen Folgen sind bisher nicht absehbar und erst recht nicht kalkulierbar.

Wenn es sich als notwendig erweisen sollte, mit gezielten Speichermaßnahmen den Anstieg der CO_2-Konzentrationen zu reduzieren, darf nicht nur an die großräumige Wiederbewaldung und Aufforstung gedacht werden, sondern es muß auch die dauerhaftere Speicherung von Kohlenstoff in Böden als mögliche Maßnahme hinzugezogen werden. Letzeres könnte durch geeignete Bewirtschaftungs- und Bearbeitungsmethoden unterstützt werden.

Wissensbedarf: Der Einfluß veränderter Biomasseproduktion bei steigender CO_2-Konzentration und veränderten Temperatur- und Niederschlagsbedingungen auf den Kohlenstoffvorrat in Böden ist bisher nur schwer abzuschätzen. Auch der Einfluß veränderter Landnutzung auf die Kohlenstoffvorräte in Böden bedarf weiterer Quantifizierung (Post und Mann, 1990). Offen ist auch die Frage nach dem veränderten Konkurrenzverhalten von Pflanzen in Ökosystemen und die Quantifizierung der veränderten Effizienz des Wasserverbrauchs verschiedener Pflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen.

Böden sind Quellen für Lachgas (N_2O)

Der Austausch von N_2O zwischen terrestrischen Ökosystemen und der Atmosphäre ist bisher nur ungefähr quantifizierbar. Etwa die Hälfte der N_2O-Quellen sind nicht sicher zu bestimmen. Es wird angenommen, daß wenigstens *90 % der N_2O-Emissionen biotischer Herkunft* sind und zum größten Teil aus terrestrischen Ökosystemen, wie den tropischen Regenwäldern, den tropischen und subtropischen Savannen sowie den fruchtbaren oder stark gedüngten Acker- und Grasländern, stammen . Bei den letzteren werden die N_2O-Emissionen besonders ansteigen, wenn durch das sich abzeichnende Bevölkerungswachstum eine weltweite Intensivierung der Bodenbewirtschaftung unumgänglich werden sollte.

Lachgas wird hauptsächlich durch biotische Prozesse bei der Nitrifikation und der Denitrifikation in Böden gebildet. Die Regelung der Freisetzung erfolgt durch ökologische Parameter, deren Quantifizierung auf regionaler und globaler Ebene noch aussteht. Gegenwärtig lassen sich lediglich grobe Bezüge ableiten. So bestehen Beziehungen zwischen dem Nitrifikationspotential sowie der Bodenfruchtbarkeit oder der N-Düngung und der N_2O-Freisetzung aus Böden.

Wissensbedarf: Es werden dringend Informationen benötigt, um die Rolle bodenphysikalischer und bodenchemischer Eigenschaften bei der Regelung der Nitrifikation und Denitrifikation zu erfassen und zu modellieren. Der Einfluß des Wasser- und Wärmehaushalts bedarf der Quantifizierung. Weltweit gibt es zu wenige Meßstellen, an denen die Freisetzung von N_2O aus Böden kontinuierlich verfolgt wird. Es bedarf auch einer räumlichen Ausweitung der

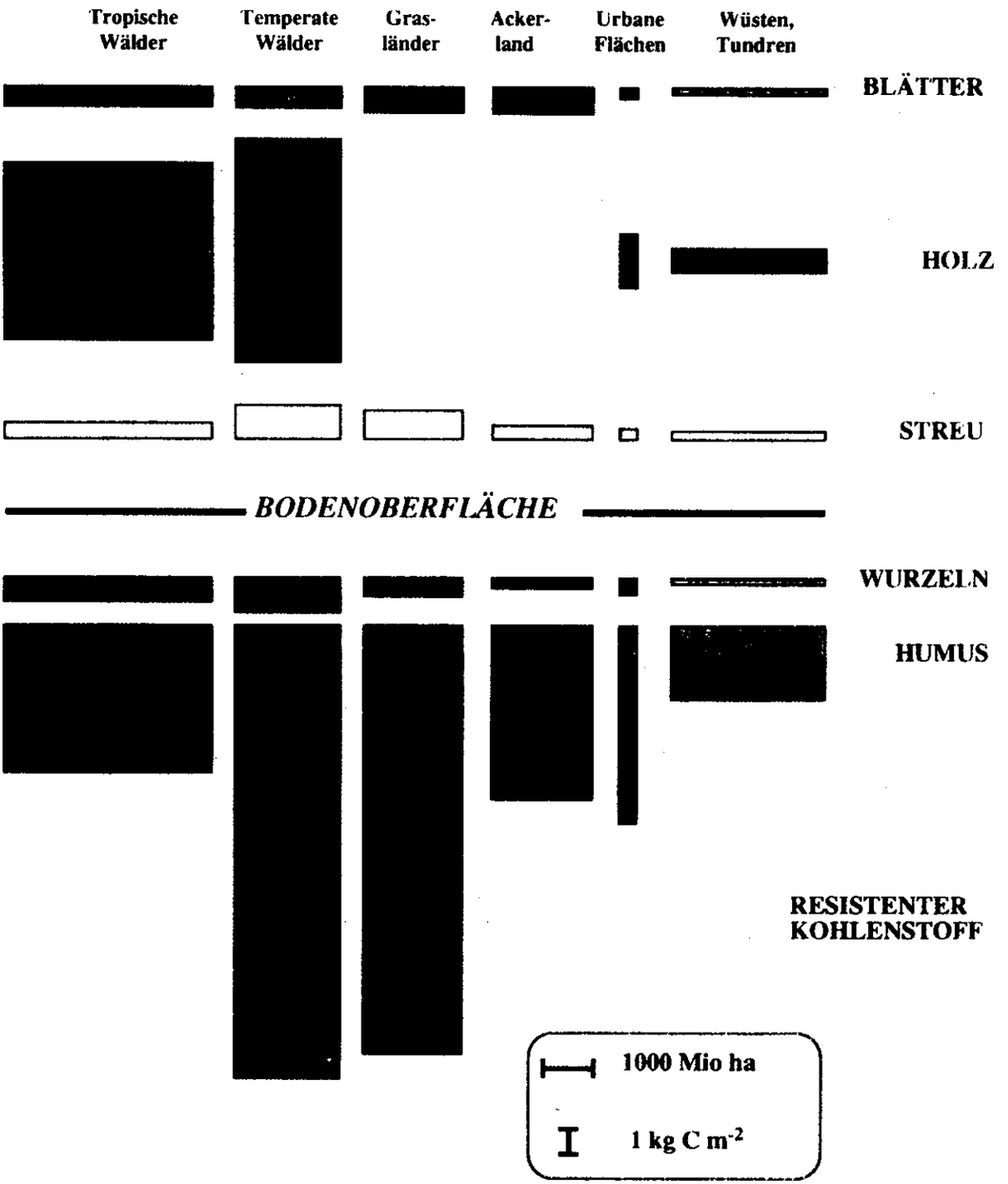


Abbildung 6: Vorräte an organischem Kohlenstoff in Böden im Vergleich zu den Kohlenstoffvorräten in der Pflanzendecke
(Nach Goudriaan, 1990)

Untersuchungen, um sichere Extrapolationen auf globaler Ebene durchführen zu können.

Böden sind Quellen und Senken für Methan (CH_4)

Der CH_4-Gehalt der Atmosphäre, obgleich relativ gering, steigt schneller als der CO_2-Gehalt. Sein Einfluß auf die Erwärmung ist pro Molekül 25-30 mal größer als der von CO_2. Im Vergleich zum CO_2 gibt es keinen Düngeeffekt. Ungefähr *70 % des Methans stammen aus terrestrischen und tierischen Quellen* wie Reisfeldern, Feuchtgebieten sowie den Mägen von Wiederkäuern und Termiten. Regional ist die Entstehung von Methan höchst unterschiedlich, wodurch sich verteilungspolitische Konsequenzen bei der Reduktion der Emission ergeben.

Wissensbedarf: Die Mechanismen der mikrobiellen Methanogenese der Methanoxidation unter Freilandbedingungen werden bisher nicht gut verstanden. Um die mikrobiellen Prozesse zu erfassen, die die Methanbildung und Freisetzung steuern, müssen Untersuchungen an einer großen Zahl von Standorten durchgeführt werden. Dabei müssen sowohl natürliche als auch vom Menschen geschaffene und gestörte Systeme enthalten sein. Auch sollten natürliche und künstliche Feuchtgebiete mehr als bisher mit in die Betrachtung einbezogen werden. Die Rolle kleiner Feuchtgebiete und Talauen sowie ihr Summeneffekt ist vermutlich bisher unterschätzt worden und bedarf der Analyse. Die Fläche und Intensität der Nutzung von Reisfeldern wird zukünftig noch ansteigen. Ursache dafür sind der rasch steigende Nahrungsbedarf und sich wandelnde Konsumgewohnheiten. Bodenbearbeitungs- und Wassermanagement sowie Anbau-Methoden müssen dabei verändert werden, um die CH_4-Emissionen zu reduzieren. Die CH_4-Freisetzung durch Bodentiere ist bisher nicht hinreichend untersucht. Die Interaktionen zwischen Biomassebildung durch die Vegetation und der Dynamik der Zersetzung muß an wichtigen Ökosystemen untersucht, wie auch die Beziehung zwischen der N_2O-Freisetzung und der CH_4-Aufnahme quantifiziert werden.

Wissensbedarf Spurengase: Um die CO_2-, N_2O- und CH_4-Flüsse global besser quantifizieren zu können, werden Datenbasen benötigt, die die Verteilung der Böden und des Klimas, aber auch der Landnutzungssysteme, des Reisanbaus, der Weidewirtschaft und der Biomasse-Verbrennung enthalten. Weiter werden längerfristige Datensätze benötigt, die es erlauben, prozeßorientierte Modelle auf ihre breite (globale) Anwendbarkeit hin zu überprüfen.

Böden sind Puffer und Filter für Schadstoffe

Die Puffer- und Filterkapazitäten für Schadstoffe wie Säuren, Schwermetalle und organische Substanzen in Böden sind begrenzt. Bei Überlastung der Speicher werden die Schadstoffe an Nachbarsysteme weitergegeben. Die Puffer- und Filtereigenschaften von Böden sind stark von deren physikalischem

und chemischem Zustand abhängig und damit standortspezifisch. Sich wandelnde Umweltbedingungen können zur Änderung der Kapazitäten führen und damit verbunden zur Freisetzung dieser Schadstoffe. So gesehen stellen in Böden akkumulierte Schadstoffe *chemische Zeitbomben* dar. Wie sich der Nutzungswandel und die Klimaveränderungen auf Speichereigenschaften und Mobilität von Chemikalien in Böden auswirken kann, ist in der Abbildung 7 schematisch dargestellt.

Wissensbedarf: Die standortspezifische Belastbarkeit von Böden mit Schadstoffen und die am Prinzip der Nachhaltigkeit orientierten kritischen Belastungsraten (critical loads) sind für sich wandelnde Umweltbedingungen (Klima, Nutzung) zu ermitteln. Die Mobilisierbarkeit von Schadstoffen und die Belastung von Nachbarsystemen ist festzustellen. Vorliegende Zeitreihen und Dauerbeobachtungsflächen müssen ergänzt und bewertet werden.

Böden sind Speicher und Transformatoren für Nährstoffe

In Böden treffen die beiden übergeordneten Ökosystemprozesse, die *Produktion* von Biomasse und deren nachfolgende *Zersetzung*, zusammen. Dabei werden Nährstoffe von Primärproduzenten aufgenommen, gebunden und nach dem Absterben durch Tiere und Mikroorganismen wieder freigesetzt. Für eine nachhaltige Nutzung von Böden müssen Entkopplungsprozesse minimiert werden, die die Verknüpfung dieser Prozesse in Böden stören. Dies kann durch eine Synchronisation der Aufbau- und Abbauprozesse von lebenden und toten Biomassen erreicht werden. Nach bisherigen Kenntnissen ist dies am besten gewährleistet, wenn Böden über Organismengesellschaften mit hoher Diversität verfügen. Ein Höchstmaß an Synchronisation in Raum und Zeit reduziert gleichzeitig die Belastung von Gewässern und der Atmosphäre mit C- und N-Verbindungen.

Wissensbedarf: Die internen Regelungen des C- und N-Umsatzes in Böden sowie die externe Steuerung der beteiligten Prozesse durch den Menschen bedürfen weiterer Aufklärung. Zwar sind auf diesem Sektor bereits viele Untersuchungen durchgeführt worden, doch wurde die Bedeutung der biologischen Prozesse kaum berücksichtigt. Für die Teile der Erde, in denen die Bevölkerung am stärksten wächst und wo die Kenntnisse über die dort auftretenden Böden und deren Eigenschaften schlecht sind, sollte das natürliche biotische Potentialvon Böden stärker genutzt werden als bisher.

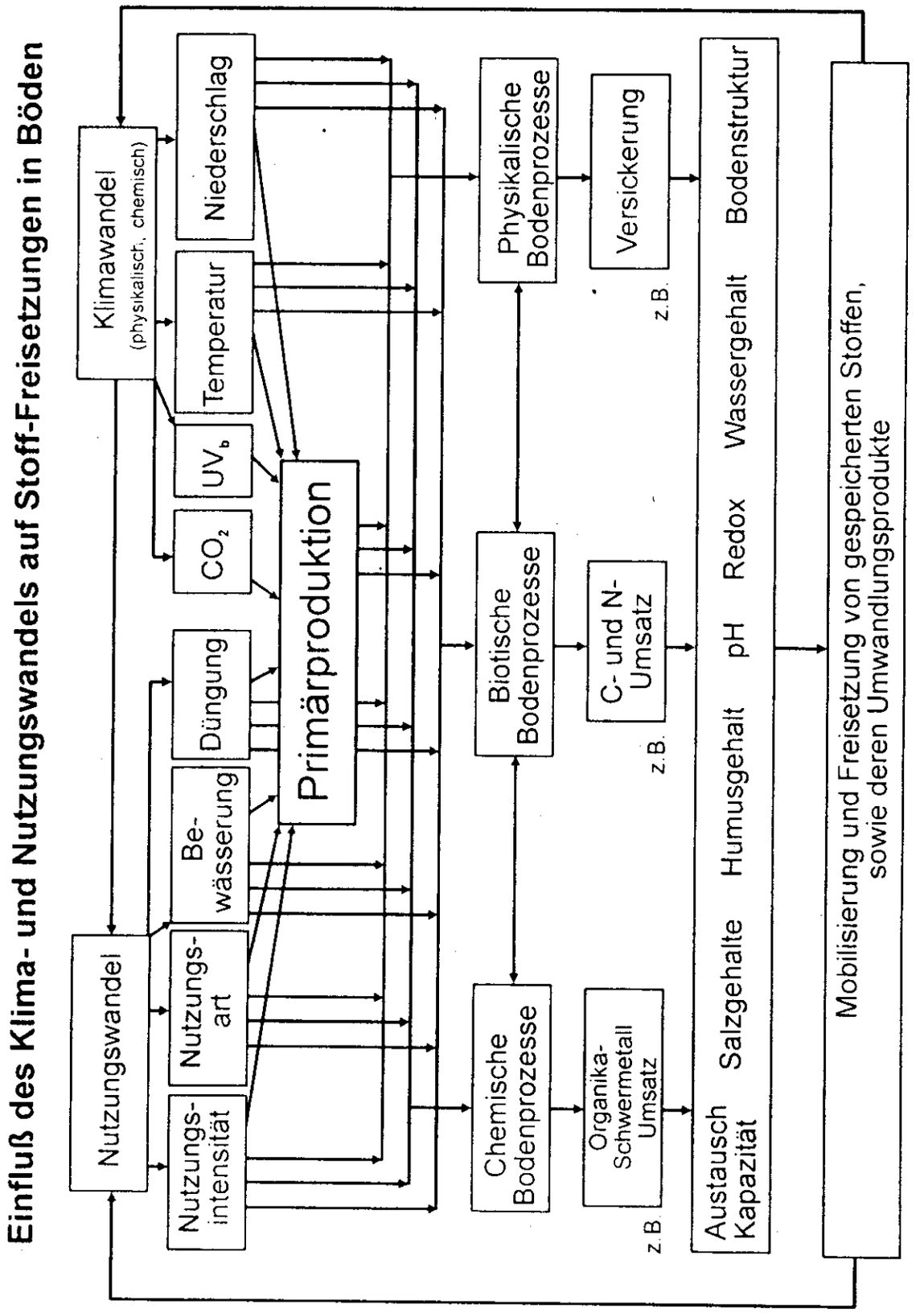


Abbildung 7: Einfluß des Klima- und Nutzungswandels auf Stofffreisetzungen in Böden

Nutzungsfunktion

Produktionsfunktion

Erhöhte CO_2-Konzentrationen und UV-B-Strahlung sowie veränderte Temperatur und Niederschläge wirken sich auf die *Photosynthese* und das *Wachstum von Pflanzen* aus und beeinflussen damit die Biomasseproduktion und den Bedeckungsgrad von Böden. Dabei kann es sowohl zu positiven als auch zu negativen Veränderungen der Produktion kommen. Eine ausführliche Darstellung hierzu findet sich in Abschnitt 1.5.

Daneben *greift der Mensch* direkt massiv *in die Produktion* terrestrischer Ökosysteme und damit in die Böden *ein*. Legt man die Annahme zugrunde, daß bereits die Hälfte der Wälder vom Menschen beeinflußt sind, so kann gefolgert werden, daß ca. 50 % der Landoberfläche direkt durch Menschen verändert werden. Tabelle 12 stellt die gegenwärtige Aufteilung der Landflächen der Welt dar und zeigt, daß der ackerbaulich genutzte Teil nur ca. 11 % ausmacht. Dies betrifft sowohl die Art der Eingriffe als auch deren Intensität, z.B. durch Ackerbau, Bewässerung, Beweidung, Viehzucht, Wanderfeldbau, Brand, Mischbewirtschaftung, Waldbau, Plantagenwirtschaft. Der starke Eingriff in die terrestrischen Ökosysteme macht umgekehrt zugleich deutlich, daß Böden nach wie vor eine wesentliche Basis für das menschliche Leben und für menschliches Wohlergehen darstellen. Sie bestimmen maßgeblich die landwirtschaftliche Produktivität und sichern damit die *Nahrungsgrundlage* der Menschen.

Tabelle 13 zeigt die Verteilung der Ackerfläche auf die Kontinente sowie die jeweiligen Ackerfläche pro Kopf der Bevölkerung. Globale Aufnahmen haben ergeben, daß die Fläche der für den Ackerbau geeigneten Böden zwischen 20 und 40 Mio. km^2 liegt, je nachdem, was als ackerfähig bezeichnet wird. Tatsache ist, daß die Ressourcen für Ackerland in weiten Teilen der Welt bereits erschöpft sind; dies gilt für Nordafrika und für Teile Asiens. Dort, wo noch Reserven vorhanden sind, ist eine Ausdehnung nur zu Lasten anderer Ökosysteme möglich. Das heißt, zunehmend müssen empfindliche, wenig belastbare Böden in Kultur genommen werden. Die Zerschneidung oder Isolation verbliebener natürlicher Ökosysteme nimmt rapide zu. Wenn wie bisher weiter große Teile der Kulturböden durch Degradierung verloren gehen und durch Inkulturnahme neuer Flächen ausgeglichen werden müssen, werden voraussichtlich in zwanzig Jahren die für die Landwirtschaft nutzbaren Bodenreserven knapp werden. In einigen Regionen reichen sie schon jetzt nicht mehr aus.

Nutzungsbedingte Eingriffe des Menschen führen, wie bereits erwähnt, häufig zur Destabilisierung der Ökosysteme. Als Folge davon treten Bodendegradierungen auf, wie sie im Abschnitt "Auswirkungen" bereits dargestellt wurden. In der Tabelle 14 sind die ihnen zugrunde liegenden Ursachen und

deren Anteil an der Bodendegradierung in verschiedenen Kontinenten aufgeführt. Betrachtet man diese Daten, so zeigt sich, daß Vegetationsänderungen (Rodungen), Überweidung und Ackerbau mit ungefähr gleichen Anteilen die Hauptursachen der Degradierung sind; allerdings treten deutliche regionale Unterschiede auf.

Zur *Sicherstellung* der Nahrungsmittelversorgung für die weiterhin rasch wachsende Weltbevölkerung bedarf es daher weltweiter Anstrengungen zur Eindämmung der fortschreitenden Produktionsminderung von Böden durch Degradierung.

Wissensbedarf: Mangelnde Ausweichmöglichkeiten aufgrund des Bevölkerungswachstums sowie der Geschwindigkeit der Veränderung werden in bestimmten Regionen der Erde Anpassungen der Landbewirtschaftung dringend erforderlich machen. Daher ist es notwendig, daß mehr land- und forstwirtschaftliche Forschung betrieben wird, daß die dabei erzielten Ergebnisse weltweit bekannt gemacht werden und zur Anwendung kommen. Dies erfordert eine Einbeziehung der Forschung in die Entwicklungspolitik.

Belastung aquatischer Nachbarsysteme durch Erosion und Stoffauswaschung

Eingetragene und freigesetzte Stoffe werden mit dem Sickerwasser in das Grundwasser oder mit dem Oberflächenabfluß in benachbarte Gewässer und über diese ins Meer verfrachtet. Auf dem Wege dorthin können sie vielfältige Belastungen der Organismen in aquatischen Ökosystemen hervorrufen. Es gilt daher, neben den Einträgen in Böden auch die kritischen Stoffausträge aus Böden zu erfassen und zu bewerten.

Das im Zuge der Wassererosion *abgetragene Bodenmaterial* wird teilweise in den Tälern deponiert (Hochflutlehm) und kann dort zur Versandung oder Verschlickung von Flüssen führen. Große Mengen werden jedoch von den Flüssen zum Meer transportiert und erst im Mündungsbereich abgelagert (Deltabildungen). Um welche Größenordnungen es sich bei den Frachten handeln kann, ist beispielhaft in der Tabelle 15 dargestellt. Die dabei entstehenden nährstoffreichen Sedimente können die marinen Ökosysteme deutlich eutrophieren und verändern. Bei Flüssen, deren Wasser aus Regionen mit starker Industrieansiedlung und intensiver Landnutzung stammen und in Flachmeere oder Binnenmeere münden, können Schadstoff-Frachten aus Böden erhebliche Belastungen der aquatischen Ökosysteme darstellen. Beispiele dafür sind die Ostsee oder der Persische Golf.

Gesamtfläche eisfreien Landes:	*130,69 Mio km²*
Ackerland	11 %
Grasland	25 %
Wälder	31 %
Andere Flächen	33 %

Tabelle 12 : Aufteilung der eisfreien Landflächen
(United Nations Environment Programme, 1991)

	Mio. km²	*ha pro Kopf*
Welt	14,78	0,28
Afrika	1,87	0,29
Nord-Amerika	2,74	0,64
Süd-Amerika	1,42	0,48
Asien	4,54	0,15
Europa	1,40	0,27
GUS	2,31	0,80
Ozeanien	0,51	1,90

Tabelle 13 : Verteilung des Ackerlands und der pro Kopf der Bevölkerung zur Verfügung stehenden Ackerflächen im Jahr 1990
(United Nations Environment Programme, 1991)

Degradierte Flächen (Mio. km²)		*Ursachen der Degradierung in %*				
		Rodungen	*Übernutzung*	*Überweidung*	*Ackerbau*	*Industrie*
Welt(gesamt)	*19,64*	*30*	*7*	*35*	*28*	*1*
Afrika	4,94	14	13	49	24	<1
Nord-/Mittelamerika	1,58	11	7	24	57	<1
Südamerika	2,43	41	5	28	26	<1
Asien	7,48	40	6	26	27	<1
Europa	2,19	38	<1	23	29	9
Ozeanien	1,03	12	<1	80	8	<1

Tabelle 14 : Ursachen der Bodendegradierung
(Oldeman et al. 1991)

Fluß	*Mündung*	*Größe des* ***Wassereinzugsgebietes*** *in 1.000 km²*	*durchschnittliche jährliche* ***Bodenfracht*** *in Mio. t*	*geschätzte jährliche* ***Bodenerosion*** *je Hektar in t*
Niger	Golf von Guinea	1.114	5	0
Kongo	Atlantischer Ozean	4.014	65	3
Nil	Mittelmeer	2.978	1.111	8
Amazonas	Atlantischer Ozean	5.776	363	13
Mekong	Südchinesisches Meer	795	170	43
Irradwady	Bucht von Bengalen	430	299	139
Ganges	Bucht von Bengalen	1.076	1.455	270
Huang (Gelber Fluß)	Gelbes Meer	668	1.600	479

Tabelle 15 : **Geschätzte jährliche Bodenerosion in den Einzugsgebieten großer Flüsse**
(World Resources Institute 1986; zitiert in: Roberts, B.:
The Health of the World´s Land: A Perspective,
7th ISCO Conference Proceedings 1993)

Verknüpfung zum globalen Wandel

Verknüpfungen bestehen zu nahezu allen Hauptelementen der globalen Umweltveränderungen. Dies ergibt sich aus der zentralen Rolle, die Böden sowohl in der Natur als auch in der Anthroposphäre spielen. In der Natursphäre sind die Böden als Puffersystem mit ihren Speichereigenschaften in den Wasserkreislauf der Erde eingebunden (Hydrosphäre). Darüber hinaus sind sie am biogeochemischen Kreislauf des Kohlenstoffs, des Stickstoffs und des Schwefels beteiligt, so daß sich hierdurch enge Verknüpfungen zum Problem der klimarelevanten Gase ergeben (Atmosphäre, Stratosphäre).

Für die mit den Klimaänderungen und mit einer erhöhten UV-B-Strahlung verbundenen Auswirkungen auf die Böden und die damit verbundene Vegetationsdecke einschließlich ihrer Besiedelung durch den Menschen bestehen Rückkopplungseffekte.

Böden sind der Lebensraum einer großen Zahl von Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen, so daß hierdurch enge Verknüpfungen zur Biosphäre (u.a. Wald, biologische Vielfalt) bestehen.

Für das Überleben und den Wohlstand der Völker ist eine nachhaltige Nutzung der Böden von herausragender Bedeutung. Die hierbei wichtigste Verbindung besteht zur Land- und Forstwirtschaft und zu Siedlungsstrukturen, bis zur Urbanisierung, die angesichts des anhaltenden Bevölkerungswachstums zukünftig eine zunehmende Bedeutung erhalten werden. Mit dem Bevölkerungswachstum und den zunehmenden Ansprüchen der Menschen wächst der Bedarf an Bodenfläche für Verkehr, Abfalldeponien und industrielle Aktivitäten.

Eine wirksame nachhaltige Boden- bzw. Landnutzung erfordert Informationsaustausch und Beratungs- und Ausbildungsmaßnahmen, um die Rolle des Menschen als Verursacher und Betroffener und besonders als potentieller Bewältiger der Bodenprobleme deutlich werden zu lassen.

Bewertung

Bodenökologische Bewertung

Nimmt man eine Reihung hinsichtlich der Dringlichkeit der zu lösenden globalen Bodenprobleme vor, so ist nach Auffassung des Beirats als erstes die *Bodendegradierung* zu nennen und die sie verursachenden Prozesse. Dabei stellt die Erosion durch Wasser und Wind weltweit das Hauptproblem der Degradierung dar. Sie ist die Ursache dafür, daß die Produktivität von Böden sinkt, Böden vollständig zerstört werden und immer neue Flächen zu Lasten anderer Ökosysteme in Nutzung genommen werden müssen.

Bei der Bodendegradierung wird zugleich das Dilemma eines *globalen Bodenschutzes* sichtbar. Die meisten Schäden treten auf lokaler Ebene auf und haben dort auch häufig ihre Ursache. Regionale und globale Ursachen, die heute viel

diskutiert werden, sind bisher wenig erforscht und ihre Wirkungen lassen sich erst ansatzweise beschreiben. Da der Summeneffekt lokaler Wirkungen aber auch globale Folgen hat, wie dies bereits oben dargelegt wurde, müssen auch diese Wirkungen einer internationalen Regelung unterworfen werden. Besonders in den Entwicklungsländern sind viele Menschen durch fortschreitende Bodendegradierung in ihrer Existenz bedroht; die Probleme können dort aber aufgrund wirtschaftlicher, sozialer und kultureller Gegebenheiten nicht lokal gelöst werden.

Diese Erkenntnis war die Grundlage zur Schaffung der *Welt-Boden-Charta*, die auf der 21. Sitzung der FAO-Konferenz 1981 angenommen wurde. Die in 13 Thesen dargelegten Prinzipien dieser Charta sind nach wie vor aktuell. In ihnen werden Regierungen, internationale Organisationen und Landnutzer aufgefordert, Böden nachhaltig zu nutzen und sie für kommende Generationen als Ressource zu erhalten, siehe Kasten *Welt-Boden-Charta*. Bisher wurde allerdings wenig getan, um diese Prinzipien international durchzusetzen, obwohl auch in anderen Programmen der UNESCO, der UNEP, des UNDP die Notwendigkeit zum Schutze der Böden herausgestellt worden ist. Darüberhinaus gibt es eine Reihe weiterer internationaler und überregionaler Institutionen, darunter auch der Europarat, die sich den Problemen des Bodenschutzes zugewandt haben. Auch auf nationaler Ebene existieren in verschiedenen Ländern Regelungen und Gesetze zum Schutz des Bodens. All diese Beschlüsse und Absichterklärungen haben jedoch nicht dazu geführt, daß das Problem der weltweiten Bodendegradierung energisch angegangen wurde.

Prinzipien und Richtlinien der ***Welt-Boden-Charta***, die von der 21. FAO-Konferenz den Vereinten Nationen und den betreffenden internationalen Organisationen im Rahmen ihrer jeweiligen Zuständigkeiten zur Durchsetzung empfohlen werden.

1) Das Boden, Wasser, assoziierte Pflanzen und Tiere umfassende Land gehört zu den Hauptressourcen, die der Menschheit zur Verfügung stehen. Aus der Nutzung dieser Ressourcen sollte nicht ihr Abbau oder ihre Zerstörung folgen, da die Existenz der Menschheit von ihrer dauerhaften Produktivität abhängt.

2) Wegen der herausragenden Bedeutung der Bodenressourcen für Überleben und Wohlstand der Völker, die ökonomische Unabhängigkeit der Staaten und die schnell steigende Notwendigkeit vermehrter Nahrungsproduktion ist Vorrang geboten für eine optimale Landnutzung, die Verbesserung und Erhaltung der Bodenproduktivität und den Schutz der Bodenressourcen.

3) Bodendegradierung, als Folge von Bodenerosion durch Wasser und Wind, Versalzung, Vernässung, Verarmung an Nährstoffen, Verschlechterung der Bodenstruktur, Verwüstung oder Verschmutzung, bedeutet einen teilweisen oder totalen Verlust von Bodenproduktivität, sowohl quantitativ als auch qualitativ. Darüberhinaus gehen täglich erhebliche Bodenflächen für nicht-landwirtschaftliche Zwecke verloren. Diese Entwicklungen sind angesichts der dringenden Notwendigkeit steigender Produktion von Nahrung, Kleidung und Holz alarmierend.

4) Bodenerosion wirkt sich auf Land- und Forstwirtschaft durch sinkende Erträge und veränderten Wasserhaushalt direkt aus; aber andere Sektoren der Volkswirtschaft und der Umwelt als Ganzes, einschließlich Industrie und Handel, werden oft genauso ernsthaft betroffen, z.B. durch Hochwasser oder die Verschlammung von Flüssen, Stauseen und Häfen.

5) Es ist eine wesentliche Verantwortung der Regierung, daß Landnutzungsprogramme Maßnahmen zum Zwecke der bestmöglichen Verwendung der Böden einschließen, die Langzeiterhaltung und -verbesserung der Produktivität sichern und Verluste von produktiven Böden vermeiden. Die Landnutzer selber sollten einbezogen werden, um die möglichst rationale Nutzung aller zur Verfügung stehenden Ressourcen sicherzustellen.

6) Die Bereitstellung geeigneter Anreize auf betrieblicher Ebene und ein vernünftiges technisches, institutionelles und gesetzliches Gerüst sind Grundvoraussetzungen für eine gute Landnutzung.

7) Die den Landwirten und anderen Bodennutzern gegebenen Hilfen sollten praktischer, service-orientierter Natur sein und zur Übernahme pfleglicher Landbewirtschaftungsweisen ermutigen.

8) Gewisse Landbesitzstrukturen können die Übernahme vernünftiger Bodenbewirtschaftungs- und -erhaltungsmaßnahmen auf landwirtschaftlichen Betrieben behindern. Um solche Hindernisse zu beseitigen, die die Rechte, Pflichten und Verantwortlichkeiten der Grundbesitzer, Bauern und anderer Landnutzer betreffen, sollten in Übereinstimmung mit den Empfehlungen der Weltkonferenz über Landwirtschaftsreform und ländliche Entwicklung (Rom 1979) geeignete Mittel und Wege verfolgt werden.

9) Die Landbewirtschafter und die breite Öffentlichkeit sollten über die Notwendigkeit und die Mittel zur Verbesserung der Bodenproduktivität und des Bodenschutzes gut informiert werden. Besonders betont werden sollten die Erziehungs- und Beratungsprogramme sowie die Ausbildung des landwirtschaftlichen Personals auf allen Ebenen.

10) Um die bestmögliche Landnutzung sicherzustellen, ist es wichtig, die Landressourcen eines Staates in ihrer Eignung für unterschiedliche Landnutzungsformen, einschließlich Landwirtschaft, Weide- und Forstwirtschaft, auf verschiedenen Aufwandsstufen zu ermitteln.

11) Land mit einem Potential für einen weiten Bereich von Nutzungsformen sollte so flexibel bewirtschaftet werden, daß zukünftig andere Nutzungen nicht für eine lange Zeit oder für immer ausgeschlossen werden. Die Nutzung von Land für nicht-landwirtschaftliche Zwecke sollte so organisiert werden, daß man die Beschlagnahme oder die Zerstörung hochwertiger Böden möglichst vermeidet.

12) Entscheidungen über die Verwendung und Bewirtschaftung von Land und seiner Ressourcen sollten den langfristigen Nutzen eher begünstigen als kurzsichtige Zwecke, die zu Ausbeutung, Verschlechterung und möglicher Zerstörung der Bodenressourcen führen können.

13) Landererhaltungsmaßnahmen sollten schon im Planungsstadium bei der Landentwicklung berücksichtigt werden und ihre Kosten in die Etats der Entwicklungsplanung eingesetzt werden.

Als zweite Priorität bei der Auseinandersetzung mit der Bodenproblematik ist die *Freisetzung oder Aufnahme klimarelevanter Gase* (CO_2, CO, CH_4, N_2O) zu nennen. Hierzu gibt es bestimmte Aktivitäten zur Erfassung der Gasflüsse auf regionaler und globaler Ebene im Rahmen des IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme) und zwar in den Kernprojekten IGAC (International Global Atmospheric Chemistry Project) und GCTE (Global Change and Terrestrial Ecosystems). Maßnahmen zur Reduktion der Freisetzung klimarelevanter Gase oder zur Steigerung der CO_2-Speicherung in Böden wurden bisher in der Praxis nicht ergriffen.

Ein dritter wichtiger Themenbereich ist die *Erfassung der Akkumulation von Schadstoffen* in Böden und deren *mögliche Freisetzung* aufgrund veränderter Umweltbedingungen. Aufgrund der Langzeiteffekte wird hier auch der Begriff der *chemischen Zeitbomben* für beide Themenbereiche verwendet. Hierbei spielt, wie auch im vorgenannten Themenbereich, die *Menge und Qualität der organischen Substanzen* und ihre biotische Umsetzung eine bedeutende Rolle. Es besteht dringender Forschungsbedarf auf regionaler und globaler Ebene zur Quantifizierung der damit verbundenen Prozesse.

Während für den ersten Themenbereich bereits internationale Vorhaben und Abkommen bestehen, die es zu aktivieren gilt, wurden die beiden anderen Bereiche international kaum untersucht und erst in jüngster Zeit stärker mit in die Betrachtung einbezogen.

Weitere Themenbereiche, die mittelfristig der Betrachtung und Bearbeitung bedürfen, sind:

- Die Veränderung der *Struktur und Funktion von Lebensgemeinschaften* in Böden aufgrund veränderter Nutzungs- und Klimabedingungen sowie der Zufuhr standortfremder Organismen.

- Die *Entkopplung von Stoffkreisläufen* aufgrund zunehmender räumlicher und zeitlicher Trennung von Produktion und Verbrauch von Biomassen und deren anschließende Zersetzung.

- Die Rolle von Böden als *Regler im Energie- und Wasserhaushalt* von Landschaften, Regionen und Kontinenten.

Historische Entwicklung politischen Handelns

National

BMI, 1985:	Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung Bundestags-Drucksache 10/1977
BMU, 1987:	Maßnahmen zum Bodenschutz Beschluß des Bundeskabinetts vom 8.12.1987
BMU, 1992:	Bodenschutzgesetz, Entwurf

International

Europarat, 1972:	Europäische Bodencharta
UNEP, 1978:	Aktionsplan zur Bekämpfung des Vordringens der Wüsten
UNEP, 1979:	Aktionsprogramm der Weltkonferenz für Agrarreform und ländliche Entwicklung
FAO, 1981:	*Welt-Boden-Charta*
UNEP, 1982:	World Soils Policy

Relevanz für Rio-Folgefragen

1)

UNO, 1992:	Res. 47 / 188: Elaboration of an international convention to combat desertification

2)

UNCED 1992: AGENDA 21		
	National	*International*
Kapitel 3		Schaffung gesetzlicher Rahmenbedingungen für die Verwaltung des Bodens, den Zugang zu Landressourcen und Landbesitz und den Schutz der Behausung (in Entwicklungsländern)
Kapitel 5		Untersuchung und Beseitigung der Ursachen für Veränderungen der traditionellen (umweltverträglichen) Landnutzung durch das Bevölkerungswachstum (in Entwicklungsländern)
Kapitel 7	Förderung einer nachhaltigen Flächennutzungsplanung	Förderung einer nachhaltigen und umweltverträglichen Siedlungsentwicklung (in Entwicklungsländern)

Kapitel 9	Sicherstellung einer Landnutzung, die mit der Erhaltung und dem Ausbau von Speichern und Senken für Treibhausgase im Einklang steht (Biomasse, Wälder)	wie national
Kapitel 10	Entwicklung und Durchsetzung von Programmen für eine nachhaltige und integrierte Bewirtschaftung der Landressourcen (insbesondere landwirtschaftliche Nutzflächen)	Unterstützung der integrierten Planung und Bewirtschaftung von Landressourcen in den Entwicklungsländern
	Aufstellung allgemeiner Rahmenpläne für die Landnutzung aufgrund aktueller Erhebungen über die Eignung für bestimmte Nutzungen	wie national
Kapitel 11	Vergrößerung der Waldflächen, insbesondere Ausweitung von Waldschutzgebieten	wie national
	Nutzung der Schutzfunktion des Waldes für den Boden zur Verhinderung von Erosion und Wüstenbildung	wie national
Kapitel 12		Unterstützung der betroffenen Länder (besonders Entwicklungsländer) bei der Erfassung der berodeten Flächen
		Unterstützung von Maßnahmen zur Erhaltung und Wiederherstellung schützender Vegetationen zur Sicherung der Bodenfruchtbarkeit, Stabilisierung des Bodenwasserhaushalts und Stärkung labiler Ökosysteme in Trockenzonen
		Beteiligung an Programmen zur Förderung des Umweltbewußtseins und des Einsatzes schonender Bewirtschaftungsmethoden zur Vermeidung einer Übernutzung des Bodens
Kapitel 13	Untersuchung und Erfassung der Boden- und Nutzungsformen der Ökosysteme und der klimatischen Bedingungen in Bergregionen	wie national
	Umweltgerechte wirtschaftliche und touristische Entwicklung von Bergregionen und Schaffung von Naturschutzgebieten	wie national

	Anwendung umweltfreundlicher Bewirtschaftungsmethoden, Erhaltung und Ausweitung des Baum- und Pflanzbestandes zum Schutz vor Bodenerosion	wie national
Kapitel 14	Schaffung der rechtlichen Voraussetzungen für eine wirtschaftlich sinnvolle Größe von Ackerflächen und zur Verhinderung weiterer Aufteilungen	wie national
		Förderung von Maßnahmen zum Schutz marginaler Böden und sensibler Ökosysteme vor Degradierung und Zerstörung durch landwirtschaftliche Nutzung
	Planung einer optimalen Landnutzung durch fortschrittliche und umweltschonende Technologien der Bewirtschaftung unter Anpassung an die jeweiligen Boden- und Klimabedingungen	wie national
	Erstellung eines Bodenkatasters für die Belastung der Böden durch Erosion, Versalzung, Verdichtung, Verschmutzung und für Minderungen der Bodenfruchtbarkeit	wie national
	Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit durch den Einsatz natürlicher organischer und anorganischer Dünger anstelle von Kunstdüngern	wie national
Kapitel 19	Einführung von Vorschriften und Maßnahmen zum Schutz des Bodens vor einer anwendungs- oder unfallbedingten Belastung durch toxische Chemikalien	wie national
Kapitel 20	Einführung von Vorschriften und Maßnahmen zum Schutz des Bodens bei der Deponierung gefährlicher Abfälle sowie zur Sanierung von Altablagerungen	wie national

Kapitel 21	Vermeidung bzw. Begrenzung von Bodenkontaminationen durch eine geeignete Ablagerung fester Abfälle und die Einhaltung von Schadstoffgrenzwerten bei der Ausbringung von flüssigen Abfallstoffen bzw. Klärschlämmen	wie national

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß für den *Boden als Standort für die Pflanzenproduktion* bereits ein umfassendes Instrumentarium besteht, während dies für die anderen Funktionen nicht der Fall ist.

Bodenökonomische Bewertung

Voraussetzungen

Böden sind durch ihre Leistungen und Nutzungen Ressourcen, die entscheidend dazu beitragen können, der Menschheit das Überleben zu sichern; insoweit sind Böden im ökonomischen Sinn Güter von globaler Bedeutung, während ihr Nutzenkreis eher lokaler bis regionaler Art ist.

Die mit den Funktionen verbundenen Leistungen und Nutzungen von Böden sind Werte, deren langfristige Erhaltung, Verbesserung und, soweit notwendig, Wiederherstellung nach Auffassung des Beirats auch unter ökonomischen Gesichtspunkten weltweit angestrebt werden sollte. Beeinträchtigungen der Funktionen mindern die Nutzungsfähigkeit und die Leistungsfähigkeit von Böden (Tabelle 16). Neben den dadurch verursachten wirtschaftlichen Verlusten sind auch die Kosten für Ausgleichs- und Sanierungsmaßnahmen zu berücksichtigen, soweit solche Maßnahmen überhaupt durchführbar sind.

Hierbei ergeben sich enge ökonomische Verknüpfungen zwischen den einzelnen Funktionen, z.B. zwischen Lebensraum- und Produktionsfunktion. Aber auch die Regelungsfunktion hat ökonomische Bedeutung, wenn Vorgänge im Boden, z.B. die Grundwasserbildung oder die Bildung von Treibhausgasen für den Menschen oder die Gesellschaft wichtig sind.

Weiterhin ist zu trennen zwischen den Kosten, die unmittelbar durch eine Beeinträchtigung der Bodenfunktion entstehen, und denen, die durch Auswirkungen von Bodenveränderungen oder -verunreinigungen bzw. geschädigten Bodenfunktionen auf den Menschen oder auf andere Umweltmedien hervorgerufen werden. Aus diesen Wechselbeziehungen folgt auch ihre Abhängigkeit von globalen Veränderungen, z.B. durch den Treibhauseffekt. In der Regel hat das Auftreten von Bodenschäden meist lokale Ursachen, die erst bei vermehrtem Auftreten zu globalen Konsequenzen führen.

Primär-beeinträchtigungen	***Kostenfaktoren***	***Funktion***		
		L	**P**	**R**
Beeinträchtigung der Lebensraumfunktion	Störung des Gleichgewichts zwischen Produktion und Zersetzung organischer Substanz	x		x
	Maßnahmen zur Minimierung der Störeinflüsse durch Klima- und Nutzungsänderungen (auf Stoffakkumulation und -freisetzung)	x		x
Beeinträchtigung der Produktionsfunktion	Produktionsverluste durch klimatische Einflüsse (CO_2, UV-B, Temperatur, Niederschlag)		x	x
	Düngung, Schädlingsbekämpfung zur Ertragssteigerung, Erhaltung der Produktion		x	
	Schutz empfindlicher, wenig belastbarer Böden	x	x	x
	Schutz anderer Ökosysteme	x	x	x
	Bereitstellung zusätzlicher Produktionsflächen		x	
	Forschung und Verwertung/Weitergabe der Ergebnisse		x	
	Rückstände im Wasser, anderen Ökosystemen und Nahrungsmitteln		x	x
	Beschaffung zusätzlicher Nahrungsmittel		x	
	Verlust natürlicher Bodenflächen	x	x	x
Beeinträchtigung der Regelungsfunktion	künstliche Bewässerung, Wasserbeschaffung (bei Versiegelung, Verdichtung, Humusmangel)		x	x
	schlechte Bodenbedeckung durch Vegetation (verhindert CO_2-Abbau)	x	x	x
	Erhaltung des Bodens als Kohlenstoffspeicher	x	x	x
	Kompensation für N_2O-Freisetzung aus fruchtbaren und stark gedüngten landwirtschaftlichen Flächen (Wasser-/Wärmehaushalt)			x
	Reduzierung der CH_4-Emission aus natürlichen und künstlichen Feuchtgebieten (besonders Reisanbau)			x
	Schadstoffaustritt aus Böden bei nachlassender Speicherfähigkeit			x

L=Lebensraumfunktion **P**=Produktionsfunktion **R**=Regelfunktion

Tabelle 16 : Bodenbelastung durch globale Umweltveränderungen: Kostenfaktoren

Bei der ökonomischen Bewertung von Bodenveränderungen ist insbesondere der Tatsache Rechnung zu tragen, daß Böden praktisch nicht vermehrbar und nur begrenzt verfügbar sind. Auch ist zu berücksichtigen, daß die Nutzungsmöglichkeiten der Böden durch ihre Eigenschaften eingeschränkt werden. Dies ist von besonderer Bedeutung hinsichtlich des Stellenwertes des Schutzgutes Boden im Verhältnis zu anderen Schutzgütern und eines Kostenvergleichs zwischen reversiblen und irreversiblen Schäden bzw. Beeinträchtigungen.

Der Umweltbereich "Boden" in einer umweltökonomischen Gesamtrechnung

Für die Stellung der Böden in einer umweltökonomischen Gesamtrechnung stehen keine fertigen Konzepte zur Verfügung. Auch fehlt eine Definition des bodenökonomischen Gesamtwertes. Inwieweit als konzeptioneller Vorschlag der

+ *Aktuelle Nutzungswert* eines Bodens (als Ausdruck des privatwirtschaftlichen bzw. des volkswirtschaftlichen Nutzens)
+ *Optionswert* (als Ausdruck einer Präferenz, d.h. Zahlungsbereitschaft, für die Erhaltung und den Schutz des Boden, z.B. als Lebensraum für Bodenorganismen)
+ *Existenzwert* (im Sinne einer Präferenz für den Erhalt des Bodens und der Landschaft unabhängig von zukünftigen Nutzungen, z.B. als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte)

zu einem *Ökonomischen Gesamtwert* führt oder geführt werden sollte, müßte im Rahmen eines Forschungsvorhabens für verschiedene Böden an unterschiedlichen Beispielen unter Einbeziehung von Entwicklungs- und Schwellenländern geprüft werden.

Das Statistische Bundesamt entwickelt zur Zeit eine umweltökonomische Gesamtrechnung, die vom Beirat "Umweltökonomische Gesamtrechnung" beim Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit wissenschaftlich begleitet wird. Unter Verwendung von "Bausteinen" dieser Rechnung läßt sich für den Themenbereich Böden eine Verknüpfung darstellen (Abbildung 8).

Solche Rechnungen können ein wichtiges Instrument sein, um das Bewußtsein für die weltweit wachsenden Bodenschäden und die damit einhergehenden Nutzeneinbußen und Wohlfahrtsverluste zu stärken und Vermeidungsstrategien anzuregen. Die Ausfüllung solcher Konzepte bedarf aber noch einer Detaillierung; sie benötigt insbesondere zur Monetarisierung vielfältige Daten, die in ausreichender Menge und Qualität bisher nicht vorliegen. Zur Ermittlung und Erfassung nationaler und internationaler Daten besteht also ein großer Handlungsbedarf.

Im Sinne einer Strom- und Bestandsrechnung sind die in Tabelle 16 aufgeführten Leistungen dem Bestandspotential des Bodens zuzuordnen, dessen Nutzungen zu Veränderungen durch natürliche Prozesse und menschliche Aktivitäten führen. Hübler et al. (1991) haben den Zusammenhang zwischen den Beeinträchtigungen von Bodenfunktionen und den daraus resultierenden Kosten der Bodenbelastung in der Bundesrepublik Deutschland für verschiedene Belastungsbereiche untersucht. Unter Berücksichtigung der dort verwendeten methodischen Ansätze der Kostenstruktur von Bodenbelastungen lassen sich für die einzelnen Bodenfunktionen die Kostenfaktoren getrennt nach direkten Beeinträchtigungen des Bodens sowie nach mittelbar durch Bodenveränderungen bzw. durch geschädigte Bodenfunktionen verursachten Beeinträchtigungen anderer Schutzgüter und Umweltmedien zuordnen. Hierbei können auch die durch globale Umweltveränderungen hervorgerufenen Beeinträchtigungen der Lebensraum-, Produktions- und Regelungsfunktionen einbezogen werden. Auch sollten Kostenfaktoren berücksichtigt werden, die für die Maßnahmen zur Reduzierung nachteiliger Auswirkungen auf globale Umweltveränderungen notwendig werden, z.B. Reduzierung der CH_4- und N_2O-Emissionen. Zu den Vermeidungskosten sind auch die erforderlichen Aufwendungen für den Bodenschutz zu rechnen; z.B. werden für den weltweiten Erosionsschutz Aufwendungen in Höhe von 28 Mrd. DM für das Jahr 1992 und 48 Mrd. DM für das Jahr 2000 geschätzt (Worldwatch Institute, 1992).

Zur Ausfüllung derartiger Strukturen besteht im nationalen und internationalen Raum ein erheblicher Abstimmungsbedarf. Schwerpunkt sollte hierbei die Kostenerfassung der Maßnahmen gegen den Verlust von Böden, besonders von Kulturböden, durch Degradierung und Maßnahmen gegen die fortschreitende Produktionsminderung der genutzten Böden in den Schwellen- und Entwicklungsländern sein. Eine Unterstützung bei der Kostenerfassung in diesen Ländern erscheint sinnvoll.

Schwerpunkte zukünftigen Handelns sieht der Beirat für folgende Themen:

- Verbesserung und Ausbau der weltweiten Datenlage und Datenbanken zur Beobachtung der Veränderungen im terrestrischen Bereich und verstärkte Mitarbeit im Rahmen der internationalen Meßnetze (GEMS, GTOS, CORINE)

- Sicherstellung, daß die in der Weltboden Charta und in der AGENDA 21 niedergelegten Prinzipien und Aufgaben in nationale und internationale Gesetzgebung und Programme aufgenommen werden.

Es sollte Aufgabe der Bundesregierung sein, daß die in der Welt-Boden-Charta und in der AGENDA 21 enthaltenen Prinzipien weltweit Anerkennung und Anwendung erlangen. Dazu könnte es sich als notwendig erweisen, eine Bodenkonvention anzustreben.

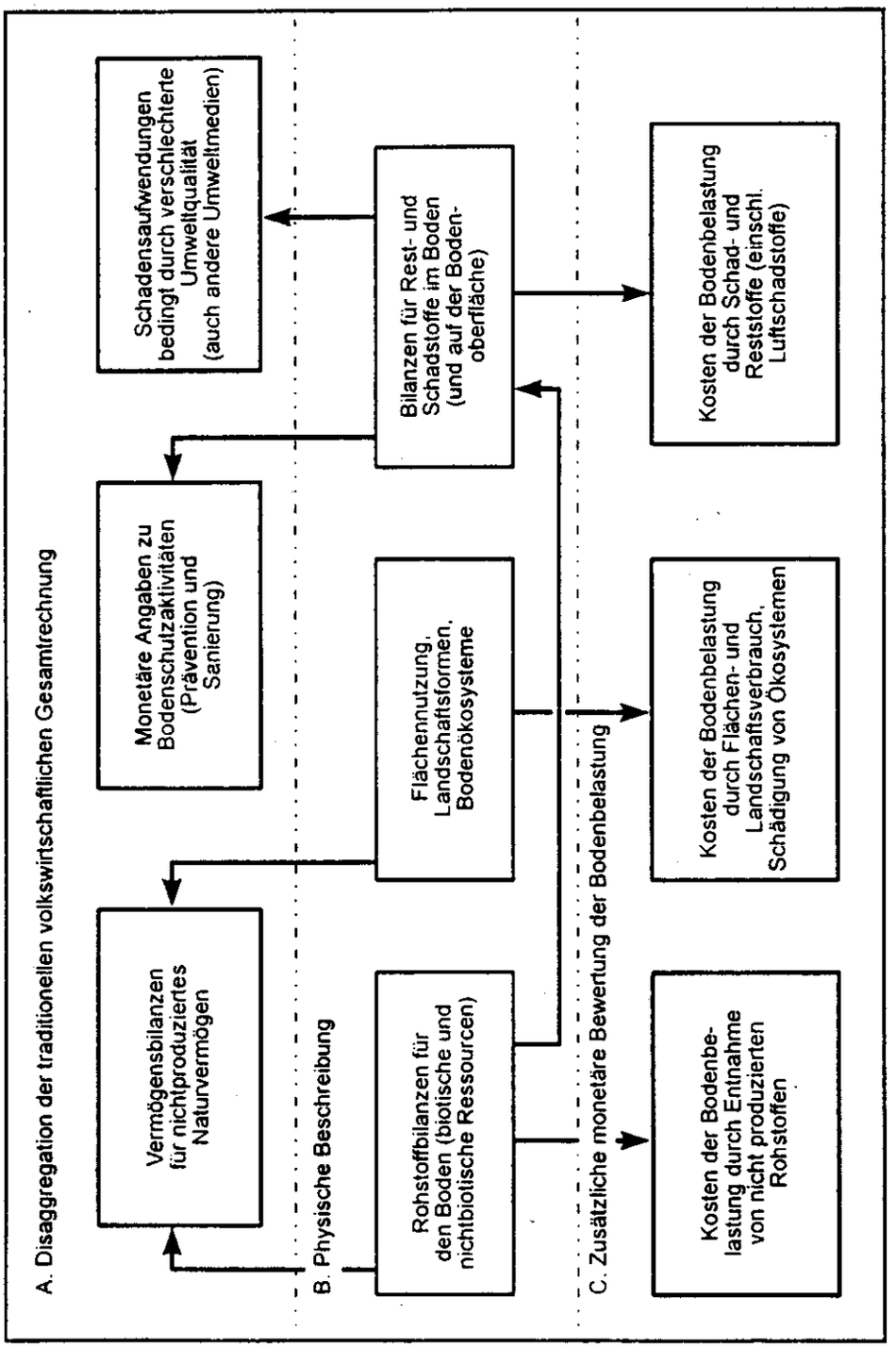


Abbildung 8: Bausteine der integrierten volkswirtschaftlichen Umweltgesamtrechnung für den Themenbereich Böden
(Modifiziert nach Statistischem Bundesamt, 1991)

Gewichtung

Böden stellen ein *Schutzgut* mit sehr hohem Stellenwert dar. Aufgrund der äußerst langsamen Entwicklung - das Alter von Böden beträgt teilweise Jahrhunderte aber überwiegend Jahrtausende - müssen irreversible Belastungen wie Überbauung, Erosion und Massenverlagerungen, Schwermetall- und Säurekontaminationen usw., minimiert werden. Reversible Belastungen wie Strukturveränderungen oder Belastungen mit organischen Substanzen, die biotisch umgesetzt werden können, wurden bisher als weniger gefährlich angesehen. Aufgrund der mit den Umsetzungen möglichen Nebenwirkungen müssen diese Belastungen allerdings neu bewertet werden. Dies gilt auch für die direkten und indirekten Eingriffe des Menschen in die Lebensgemeinschaften von Böden.

Neben der weiteren Aufdeckung und Quantifizierung der Wirkungen, die aufgrund der globalen Veränderungen in Böden auftreten können und der davon ausgehenden Belastung von Nachbarsystemen, wird ein wesentlicher Teil der zukünftigen Aufgaben darin bestehen, bereits vorhandenes Wissen auch weltweit *anzuwenden* und in Handlungsstrategien *umzusetzen*. Da in vielen Ländern, in denen Böden zunehmend belastet werden, weder das Wissen bei den Verursachern noch die Möglichkeit oder Bereitschaft des Eingriffs durch die Regierungen vorhanden ist, kann das Problem nur aufgrund internationaler Kooperationen gelöst werden.

Forschungsbedarf

- *Datengrundlage*: Verbesserung der flächendeckenden Bodenaufnahme auf nationaler und internationaler Ebene unter Verwendung der Fernerkundung. Eichung der Fernerkundungsdaten an internationalen Meßnetzen. Entwicklung von Auswertungsprogrammen zur Ableitung von Handlungsstrategien.

- *Bodenfunktionen*: Bestimmung der Bedeutung der Böden und ihrer ökologischen Komplexität für die nachhaltige Stabilität und Produktivität von Ökotopen bis Ökoregionen sowie des Einflußes erhöhter CO_2-Konzentrationen und Nutzungstrategien auf die Biomasseproduktion und die C-Speicherung in Böden verschiedener Ökosysteme. Quantifizierung der bodenökologischen Regelgrößen der Aufnahme und Abgabe von Spurengasen (CO_2, CH_4, N_2O, NO_x). Entwicklung von Strategien zur Reduktion von Spurengasen.

- *Schadstoffbelastung von Böden*: Analyse der Belastbarkeit von Böden mit Schadstoffen und Nährstoffen unter Einbeziehung der sich ändernden Umweltbedingungen; Verfolgung eines dynamischen Ansatzes wie das "Critical Load Concept".

- *Bodendegradierung:* Untersuchung der Einflüsse des veränderten physikalischen und chemischen Klimas und der veränderten Landnutzung auf die Degradierung von Böden und Entwicklung eines Vorhersagemodells.

- *Bodennutzung*: Entwicklung von Anpassungsstrategien für Land- und Forstwirtschaft im Hinblick auf die globalen Umweltveränderungen sowie Untersuchung von Interaktionen von Bodennutzung und Klimaänderungen.

- *Bodenökonomie*: Evaluaierung der Kriterien (aktueller Vermögenswert, Optionswert und Existenzwert) zur Ermittlung eines bodenökonomischen Gesamtwertes für verschiedene Böden. Dies sollte an unterschiedlichen nationalen Beispielen unter Einbeziehung von Entwicklungs- und Schwellenländern durchgeführt werden.

- *Internationale Bodenpolitik*: Untersuchung der Möglichkeiten zum Ausbau von weltweiten Informations-, Beobachtungs- und Forschungsnetzen und deren Wirksamkeit für einen weltweiten Bodenschutz.

1.5 Biosphäre

Eine in sich geschlossene Bearbeitung eines Kapitels zur "Biosphäre" würde etwa den folgenden Aufbau nahelegen:

- Strukturierende Fragen,
- Umweltprobleme einzelner Biome, z.B.
  - Wälder,
  - Meere,
  - von Wüstenbildung bedrohte Regionen,
  - Landwirtschaft in entwickelten Regionen,
- Biologische Vielfalt als übergreifender Aspekt der Biosphäre.

Eine solche Vorgehensweise kann in diesem Kapitel aber nicht strikt eingehalten werden, weil bestimmte Teilbereiche in anderen Kapiteln des Gutachtens angesprochen werden. So wird die Landwirtschaft im Kapitel "Wirtschaft" und werden die Meere im Kapitel "Wasser" behandelt. Von Wüstenbildung bedrohte Regionen werden erst in den folgenden Jahresgutachten bearbeitet. Daher umfaßt das Kapitel "Biosphäre" im vorliegenden Gutachten nur zwei inhaltliche Abschnitte: Zunächst wird ein ausgewähltes Biom, der Wald, behandelt, und anschließend wird auf die biologischen Vielfalt eingegangen. Diese beiden Ausschnitte werden im ersten Gutachten nicht zuletzt auch deshalb vorgezogen, weil auf der UNCED-Konferenz in Rio de Janeiro 1992 dazu jeweils eine internationale Vereinbarung verabschiedet worden ist: die Wald-Erklärung und das Übereinkommen über die biologische Vielfalt (Artenvielfalt-Konvention).

Biosphäre im Überblick

Der Begriff Biosphäre ist wissenschaftlich nicht einheitlich definiert und wird daher unterschiedlich verwendet. Die *Biosphäre* umfaßt zunächst die gesamte Flora, Fauna und die Mikroorganismen der Kontinente und Meere; die Menschen als Lebewesen sind ebenfalls Bestandteil der Biosphäre. Diese Definition ist für praktische Belange noch nicht sehr hilfreich, weil sie sowohl räumliche Differenzen als auch abiotische Komponenten nicht berücksichtigt. Daher wird häufig eine Definition verwendet, die nicht allein auf den Lebewesen basiert, sondern auf Ökosystemen.

Als *Biosphäre* wird im folgenden die Gesamtheit der kontinentalen und marinen Ökosysteme verstanden, die auf globaler Ebene miteinander in Wechselbeziehungen stehen und die über ihre Systemgrenzen Energie, Materie und Informationen mit den anderen Sphären austauschen. Nach dieser Definition sind auch die Pedosphäre, die aquatischen Sedimente und die belebten Zonen der Hydrosphäre der Biosphäre zuzuordnen.

Aus praktischen Erwägungen läßt sich die Biosphäre in *Ökosysteme* unterschiedlichen Aggregationszustandes gliedern. Ein Ökosystem stellt das Beziehungsgefüge von Lebewesen untereinander und in ihrem Lebensraum dar. Ökosysteme sind offen und haben bis zu einem gewissen Grad die Fähigkeit zur Selbstregulation. Zu Ökosystemen zählen terrestrische und aquatische Ökosysteme (darunter Meeresökosysteme) und die dazugehörigen ökologischen Komplexe.

Mit zunehmender Größe und Komplexität werden Ökosysteme in *Ökotope, Ökochoren, Ökoregionen* und *Ökozonen* unterschieden. Im Gegensatz zu Organismen oder physikalischen Systemen weisen Ökosysteme häufig keine scharfen Grenzen auf. Die Grenzen werden auch mit zunehmender Größe immer unschärfer. Dennoch können auch wilkürlich gezogene Grenzen eine Hilfe bei der Strukturierung sowie bei der Zuordnung von Prozessen und Bilanzen sein. Zugleich darf man die Organismengesellschaften von Ökosystemen nicht als statische Einheiten betrachten, sie sind vielmehr einem ständigen Wechsel in Raum und Zeit unterworfen. Die Untergliederung in Ökosysteme hat den Vorteil, daß der so definierten natürlichen Biosphäre die Anthroposphäre mit ihren vielfältigen Subsystemen gegenüber gestellt werden kann.

Für die Betrachtung globaler Probleme erscheint eine Gliederung der terrestrischen Ökosysteme auf der Basis von *Ökozonen* (*Biome, Zonobiome*) als sinnvoll. Für die weiteren Beschreibungen wird eine Untergliederung in neun Ökozonen verwendet, wie sie von Schulz (1988) vorgeschlagen wurde (Tabelle 17), für die Meere wurde die Einteilung in Regionen nach Lüning (1985) übernommen (Tabelle 18).

Die Ökozonen sind durch ein jeweils spezifisches Klima gekennzeichnet. Dies bedeutet, daß sich die jährlichen Mengen an Strahlung, Niederschlägen und Wärme sowie deren zeitliche Verteilung zwischen den einzelnen Ökozonen deutlich voneinander unterscheiden. Ökozonen weisen charakteristische Bodengesellschaften auf. Die Bedeutung von Böden in Ökosytemen wurde im vorausgegangenen Kapitel bereits beschrieben. Ferner sind Ökozonen durch typische Pflanzen- und Tiergesellschaften gekennzeichnet. Aufgrund topographischer und geologischer Gegebenheiten sind in Ökozonen auch azonale Ökosysteme enthalten mit zum Teil stark abweichenden Strukturen und Funktionen. Sie können eine wichtige Rolle für die biotische Diversität der Ökozonen spielen und für deren Stabilität essentiell sein.

	Anteile der Zonen an der Landfläche in :	
	% der Gesamtfläche	*% der eisfreien Fläche*
1. Polare/subpolare Zone	**14,8**	--
1.1 Tundra + Permafrostzone	3,9	4,4
1.2 Eiswüsten	10,9	--
2. Boreale Zone	**13,0**	**14,7**
3. Feuchte Mittelbreiten	**9,7**	**10,9**
4. Tockene Mittelbreiten	**11,0**	**12,3**
4.1 Grassteppen	8,0	8,9
4.2 Wüsten und Halbwüsten	3,0	3,4
5. Tropische/subtropische Trockengebiete	**20,9**	**23,4**
5.1 Dornensavannen + -steppen	9,2	10,1
5.2 Wüsten + Halbwüsten	11,7	13,3
6. Winterfeuchte Subtropen	**1,8**	**2,0**
7. Sommerfeuchte Tropen	**16,3**	**18,3**
8. Immerfeuchte Subtropen	**4,1**	**4,6**
9. Immerfeuchte Tropen	**8,3**	**9,4**

Tabelle 17: Ökozonen der Erde
(Schultz, 1988)

1. Arktische Region
2. Kaltgemäßigte Region der Nordhalbkugel
3. Warmgemäßigte Region der Nordhalbkugel
4. Tropische Region
5. Warmgemäßigte Region der Südhalbkugel
6. Kaltgemäßigte Region der Südhalbkugel
6a. Subantarktische Inselregion
7. Antarktische Region

Tabelle 18 : Meeresgeographische Regionen
(Lüning, 1985)

1.5.1 Veränderungen der Biosphäre am Beispiel Wald

Kurzbeschreibung

Wälder bedecken etwa ein Fünftel der Landfläche der Erde, und sie produzieren mehr als ein Drittel der terrestrischen Biomasse. Sie spielen im Rahmen der globalen Umweltveränderungen eine wichtige Rolle, denn sie bestimmen wesentlich den Kohlenstoff-Kreislauf zwischen Biosphäre und Atmosphäre mit. Durch menschliche Aktivitäten wird jährlich eine große Menge Kohlenstoff (C) in die Atmosphäre abgegeben, teils durch Verbrauch fossiler Brennstoffe, teils durch Vernichtung bzw. Nutzung der tropischen Wälder. Es wird angenommen, daß die Atmosphäre und die Ozeane als Senken (Aufnahmemedien) fungieren. Noch nicht genau bekannt ist die Rolle der Wälder als eine weitere Senke für den Kohlenstoff. Eine Hypothese besagt, daß vor allem die Wälder der gemäßigten Zone diese Senke bilden. Wälder sind ein wirksamer Filter für Luftverunreinigungen, sie "säubern" gewissermaßen die Luft. Sie schützen den Boden vor Erosion. Wald dient dem Menschen direkt als Ressource für Holz und Nahrungsmittel, und er ist außerdem für Erholung und Tourismus wichtig. Wälder verfügen über ein großes genetisches Potential, vor allem in den tropischen Regenwäldern ist ein großer Artenreichtum vorhanden, der in seiner Vielfalt noch gar nicht wissenschaftlich beschrieben ist. Nicht zuletzt ist Wald, ähnlich wie Wasser (siehe 1.3) ein kulturellen Wert. In vielen Breiten hat sich der Mensch in Ko-Evolution mit den Tier- und Pflanzenarten entwickelt, was Spuren in seiner Psyche hinterlassen haben dürfte (Hampicke, 1991). Das mag mit erklären, daß viele Völker eine emotionale Beziehung zum Wald haben, in Deutschland beispielsweise ausgeprägt positiv. In Brasilien findet man hingegen dort, wo Menschen nicht mehr im Regenwald leben, eine eher feindliche Haltung, weil der Wald als Bedrohung der zivilisierten Lebensweise erscheint. In manchen Ländern mit einer urbanen Kultur wie Italien oder Frankreich, herrscht hingegen eher Gleichgültigkeit gegenüber dem Wald. In jedem Fall ist bei Empfehlungen, die den Wald betreffen, diese kulturelle Tradition des jeweiligen Landes unbedingt zu berücksichtigen.

Die vielfältigen Funktionen des Waldes werden schon seit längerem in mehrfacher Weise bedroht. Wälder werden sowohl direkt vernichtet (z.B. Brandrodung, Abholzen bei Gewinnung von Bodenschätzen) als auch durch Umweltverschmutzung in ihrem Bestand gefährdet. Laut Bericht der Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages (1990) hat die Vernichtung der tropischen Wälder "dramatisch zugenommen: 1980 belief sich nach Schätzungen der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen die jährliche Vernichtung in geschlossenen tropischen Wäldern auf etwa 75.000 km^2 und in offenen Tropenwäldern auf etwa 39.000 km^2. Nach neuen, vorläufigen Schätzungen beträgt die Zunahme der Vernichtungsrate gegenüber 1980 90 %. Dies bedeutet, daß derzeit allein im Bereich geschlossener Primärwälder jedes Jahr 142.000 km^2 Wald zerstört werden. Bis zum Jahr 1980 war die tropische Waldfläche bereits auf etwa die Hälfte ihres

ursprünglichen Bestandes reduziert. Zu diesem Zeitpunkt gab es noch etwa 19,4 Mio. km^2 tropischer Wälder, die etwa 13 % der Landoberfläche bedeckten. Heute umfaßt der Bestand insgesamt wahrscheinlich nur noch 18 Mio. km^2. Bis zum Jahre 2050 wird ein weiterer Rückgang auf etwa 5 bis 8 Mio. km^2 erwartet. In vielen Ländern wird dann kaum noch Wald verblieben sein."

In den Wäldern der gemäßigten Zonen werden seit einigen Jahren Schäden von großem Ausmaß beobachtet. Diese Waldschäden entstehen durch einen Komplex von Faktoren, an dem u.a. Luftverunreinigungen sowie Klimafaktoren beteiligt sind; sie können auch in großer Entfernung von Emissionsquellen, in sogenannten Reinluftgebieten, auftreten (Dässler, 1991). Es wird geschätzt, daß diese Wälder bis zu 50 % geschädigt sind. Im Maße dieser Schädigung können sie dann ihre Funktion als Senke für CO_2 weniger gut erfüllen.

Eine jüngere Entwicklung sind die großflächigen Abholzungen in den borealen Wäldern insbesondere Rußlands und Kanadas. So unterliegt die Taiga, ein über 5 Mio. km^2 großer Waldgürtel, der den russischen Osten bedeckt, in jüngerer Zeit zunehmenden Nutzungen insbesondere durch die ausländische holzverarbeitende Industrie. Die Vergabe von Rechten zu großflächigen Rodungen in den russischen Wäldern an ausländische Unternehmen erfolgt sicherlich zum Teil in Erwartung von mittelfristigen Entwicklungsbeiträgen in den entsprechenden Regionen, dient speziell aber auch der kurzfristigen Erwirtschaftung von Devisen.

Ursachen

Seit Beginn des 18. Jahrhunderts hat sich die Weltbevölkerung verachtfacht und die durchschnittliche Lebenserwartung verdoppelt. Das internationale Handelsvolumen hat sich um den Faktor 800 erhöht. Die Landwirtschaft dehnte sich aus, die Energieerzeugung und die Industrieproduktion stiegen drastisch an. Diese Faktoren führten zu weltweiten Veränderungen des Landschaftsbildes. Seitdem sind der Erde 6 Mio. km^2 Wald verlorengegangen (Clark, 1990). Damit einher ging eine wesentliche Zunahme der Bodendegradierung, verbunden mit der Erhöhung der Sedimentfracht in großen Flußsystemen. Dadurch gelangen jährlich bis zu 2 Mrd. t Kohlenstoff in die Weltmeere. Im gleichen Zeitraum stieg die dem globalen Wasserkreislauf jährlich entnommene Wassermenge von ca. 100 auf 3.600 km^3. Diese Trends setzen sich in heutiger Zeit fort. Die rasch wachsende Bevölkerung der Tropenländer dringt in die Urwälder vor, um mit großflächigem Holzeinschlag und mit Landwirtschaft ihren Lebensunterhalt zu bestreiten.

Schädigungen *tropischer Wälder* sind auf ein komplexes Ursachengefüge zurückzuführen. In den meisten Tropenländern ist die Rodung zwecks agrarischer Nutzung (Weiden, Plantagen) der bedeutendste Faktor. Dabei ist zwischen kleinbäuerlicher Agrarwirtschaft, Wanderfeldbau im Rahmen au-

tochtoner Subsistenzwirtschaftsweisen ("shifting cultivation") und agroindustriellen Landnutzungen zur Produktion von landwirtschaftlichen Exportprodukten ("cash crops" wie Soja, Mais oder Kaffee, Kakao, Kautschuk) sowie extensiver Viehwirtschaft zu unterscheiden. Weiterhin zählen der Nutzholzeinschlag (Export, Brennholz, Holzkohle), die Gewinnung von Bodenschätzen sowie die Erstellung industrieller und infrastruktureller Großprojekte zu den Schadensdeterminanten (FAO, UNEP, 1981; Enquete-Kommission, 1990).

Weitere Ursachen der Waldvernichtung in Entwicklungsländern seien am Beispiel Indiens gezeigt (Haigh, 1984). In Indien stellen die Modernisierungsbestrebungen den Ausgangspunkt für viele Umweltprobleme dar. Die Entwaldung Indiens begann in der Ära der britischen Herrschaft und setzt sich heute unter dem Aspekt fort, das Land zu einem "modernen Staat" zu entwickeln. Benötigt werden dazu u.a. ein modernes Transportsystem (Straßenbau) und eine verbesserte Wasserversorgung (Bau von Staudämmen). Die Bevölkerung wächst auch in diesen Gegenden gleichzeitig so stark, daß sich ihr Wachstum negativ auf die Waldbestände der Gebirgsregionen auswirkt (Abholzen der Wälder, Störung des ökologischen Gleichgewichts) und damit zu Hochwasser in den Flußniederungen führt.

Insgesamt haben der Zwang der armen Bevölkerungsschichten, auf diese Weise für den Lebensunterhalt sorgen zu müsen, die Folgen landwirtschaftlicher Übernutzung ganzer Regionen und der industrielle Abbau von Rohstoffen neue Formen von Landschaftsveränderungen in vielen Gebieten hervorgebracht, deren Auswirkungen noch nicht voll zu überblicken sind. Artenschwund und Rückgang der biologischen Produktivität scheinen unausweichlich zu sein (Clark, 1990).

Alle diese Aktivitäten sind, näher betrachtet, wiederum als Erscheinungsformen tieferliegender Ursachen anzusehen. Zu nennen ist in diesem Zusammenhang zunächst der Bevölkerungsdruck. So wird ein bis zum Jahre 2000 auf 80 Mio. Hektar geschätzter zusätzlicher Bedarf an landwirtschaftlicher Fläche in den Entwicklungsländern erwartet, der aller Wahrscheinlichkeit nach durch weitere Nutzungsänderungen von Waldflächen gedeckt werden wird, was angesichts der inadäquaten Bodenbewirtschaftungsformen besonders problematisch ist. Diese Entwicklung steht auch in Zusammenhang mit der wirtschaftlichen Unterentwicklung in vielen Tropenländern, die längerfristige Planung und damit auch ökologisch orientiertes Handeln sehr häufig ausschließt. Dabei ist auch auf internationale Einflüsse wie etwa Importbeschränkungen seitens der Industrieländer oder die Notwendigkeit, einen hohen Schuldendienst zu leisten, hinzuweisen.

Eine weitergreifende Ursachenanalyse hat aber auch gewisse Mißstände in den Tropenländern selbst anzuführen, die wiederum nicht unabhängig von den genannten sozioökonomischen und politischen Rahmenbedingungen zu sehen

sind. Faktoren wie ungerechte Landverteilung bzw. unterlassene Landreformen, die Waldvernichtung begünstigende Abgabensysteme, Korruption, ungelenkte Binnenwanderungen oder direkt mit Waldschädigung verbundene Siedlungsprogramme seien beispielhaft erwähnt (Enquete-Kommission, 1990; Weltbank, 1992).

In den Industrieländern Europas und Amerikas (*Wälder der feuchten mittleren Breiten)* treten verstärkt durch Immissionen von Luftschadstoffen und Bodenversauerung induzierte Waldschäden auf. Großflächige Vegetationsschäden wurden in der Vergangenheit vor allem durch Schwefeldioxid (SO_2) hervorgerufen; daneben beeinflussen vielfach Fluor- und Chlorverbindungen sowie verschiedene Stäube die Vegetation. Die hohe SO_2-Belastung war vorwiegend durch den Schwefelgehalt der Brennstoffe (Braun- und Steinkohle, Erdöl) bedingt, der sich zwischen 1 und 3 % bewegt (Dässler, 1991). Durch den Einbau von Anlagen zur Rauchgasentschwefelung von Kraftwerken konnte die Belastung der Luft durch SO_2 in den alten Bundesländern um zwei Drittel gesenkt werden. Zu den wesentlichen gasförmigen pflanzenschädigenden Luftverunreinigungen zählen ferner Fluorwasserstoff (HF), Stickstoffoxide (NO_x), Bleiverbindungen, Ozon (O_3) und Photooxidantien, Chlorwasserstoff (HCl) und Chlor (Cl_2) sowie Ammoniak. Säurebildende Luftverunreinigungen (SO_2, NO_x, HCl, HF) führen zu saurem Regen. Dabei sind vor allem die Stickstoffeinträge aus dem Straßenverkehr und aus der Landwirtschaft (Ammoniak aus Güllebecken, Großviehanlagen) für das Auftreten der Waldschäden eine wesentliche Ursache.

Ein Waldökosystem besteht aus Primärproduzenten (alle Pflanzen, die zur Photosynthese fähig sind), Sekundärproduzenten (Bodenorganismen und anderen Tieren sowie Mikroorganismen) und Bodenbestandteilen (Bodenlösung und mobilisierbare Nährstoffe in der flüssigen Bodenphase). Alle Komponenten werden durch Luftschadstoffe in unterschiedlichem Maße beeinträchtigt. Ulrich (1990) hat die Ursachen für die Waldschäden sowie deren Ausprägung zusammengefaßt. Dazu zählen z.B. der Säurestreß an den Wurzeln, der zu nachteiligen Wirkungen auf die Nährstoff- und Wasseraufnahme führt, Veränderungen in der Verzweigung der Bäume, frühe Blatt- oder Nadelverfärbung sowie das Schwinden der Wachsschicht (Kutikula) auf Nadeln.

Auch andere Autoren (Esher, 1992; Ramazzo und Blum, 1992; Chadwick und Hutton, 1990) messen dem sauren Regen eine große Bedeutung für das Auftreten von Waldschäden bei, wobei die Bodenversauerung eine Abnahme der Mykorrhiza und eine Verminderung des Wurzelwachstums in den europäischen Wäldern hervorrief. Es gibt verschiedene Hypothesen über das Auftreten von Waldschäden und deren Ursachen und Auswirkungen (Abbildung 9). Aber dennoch ist das Zusammenwirken von Schadfaktoren, Klima und Reaktion von Waldökosystemen nicht völlig geklärt. Eine Schwierigkeit, die Beziehungen

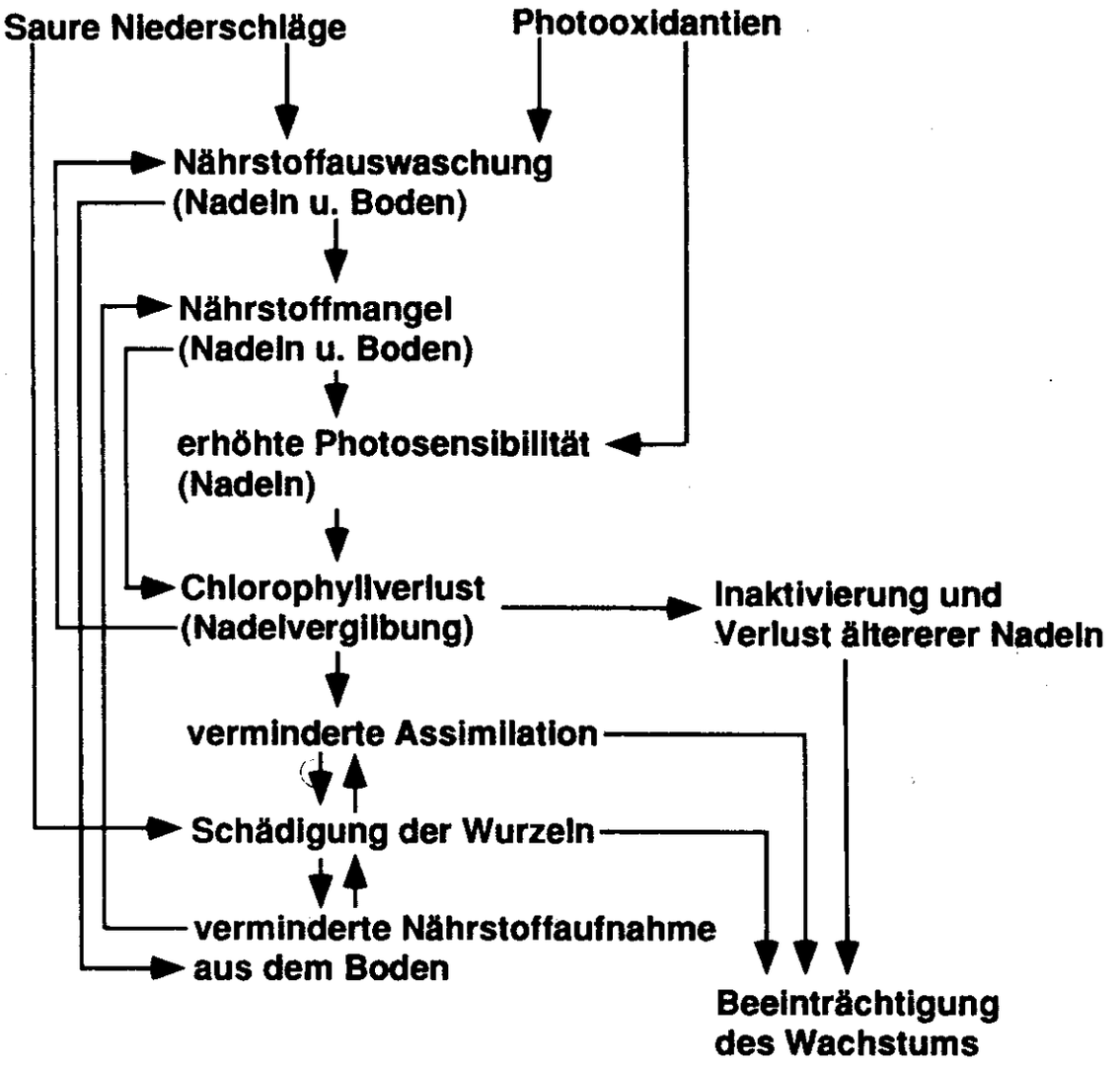


Abbildung 9: Wirkung der Kombination von Photooxidantien und sauren Niederschlägen auf den Wald
(Nach Dässler, 1991)

zwischen Ursache und Wirkung zu erkennen, liegt in der oft verzögerten Reaktion von Organismen und Biosystemen auf Schadeinwirkungen. Es wird auch zukünftig nötig sein, die Dynamik der im Ökosystem ablaufenden Prozesse und deren Wechselwirkungen, sowohl untereinander als auch mit der Umwelt zu untersuchen.

Die *borealen Wälder* sind weniger durch Immissionsschäden als vielmehr durch großflächigen Holzeinschlag bedroht. Dieser führt, wie auch bei den tropischen Wäldern, zum Verlust der jungen, nachwachsenden Bäume, wodurch eine natürliche Regeneration verhindert wird und ein großer Anteil an unverwertbarem Holz anfällt (Vöb, 1992). Die Rodungen sind außerdem mit einer Beeinträchtigung weiterer Flächen verbunden (z.B. infrastrukturelle Erschließung bislang unberührter Gebiete).

Auswirkungen

Wälder sind eine der wichtigsten Lebensgrundlagen der Menschen. Aus ökonomischer Sicht sind die Verringerungen in Quantität und Qualität der weltweiten Waldbestände als verschiedene Arten von Kosten zu interpretieren. Diese Kosten erscheinen oftmals gegenwärtig noch nicht in den Wirtschaftsrechnungen der privaten Wirtschaftssubjekte und in den Haushalten der Nationen (externe Effekte), werden aber im Laufe der Zeit in Form von Wohlstandseinbußen oder gesundheitlichen Schäden auftreten. Im einzelnen handelt es sich um Beeinträchtigungen bei der Nutzung der vielfältigen Funktionen des Waldes und um die damit verbundenen Folgekosten: Der Wald dient dem Menschen zum einen direkt, z.B. als Ressource bzw. Standort (Holz, Nahrungsmittel, Gen-Pool etc.) oder als Konsumgut (Erholung, Tourismus, kultureller Wert). Die Waldbestände erfüllen zum anderen wichtige Funktionen für die Schutzgüter Luft (Wald als Aufnahmemedium für Schadstoffe, CO_2-Senke, Klimastabilisator), Wasser (Wasserspeicher) und Boden (Erosionsschutz), deren Beinträchtigungen den Menschen auf indirektem Wege tangieren.

Biosphäre

In der Biosphäre sind die gravierendsten Folgen der großflächigen Rodungen der Wälder die Einwirkungen auf den Kohlenstoff-Kreislauf sowie auf den Wasserhaushalt und damit das Klima der Erde. Durch das Verbrennen der organischen Substanzen nimmt einerseits der CO_2 -Gehalt in der Atmosphäre zu, andererseits nimmt die reduzierte Waldfläche weniger CO_2 aus der Atmosphäre auf. Das offenbar seit langem stabile Gleichgewicht zwischen Kohlenstoffassimilation und -freisetzung wird durch beide Effekte gleichsinnig gestört (Plachter, 1991).

Die Abholzung der Wälder kann zu Hochwasser, Erdrutschen und Bodenerosionen führen, wie z.B. auf dem indischen Subkontinent zu beobachten ist. Dort haben vor allem die Wälder am Rande des Himalaja, die bereits erheblich

dezimiert wurden, eine große Bedeutung für die Regulierung des Wasserkreislaufs dieser Regionen. Durch die Waldreduzierung ist vor allem Bangladesch hochwassergefährdet, da ca. 50 % seiner Fläche weniger als 8 m über dem Meeresspiegel liegt. Auch in China sind die starken Bodenerosionen auf übermäßige Waldrodung zurückzuführen.

Regionale Auswirkungen sind relativ gut zu erkennen. So wurde auf abgeholzten Arealen eine um 3 bis 6 °C höhere Tagestemperatur bei stärkerer nächtlicher Abkühlung im Vergleich zu benachbarten bewaldeten Flächen gemessen. Die globalen Änderungen durch den Treibhauseffekt können noch nicht exakt vorhergesagt werden. Vermutlich kommt es aber zu einer Verschiebung der Klimazonen in Richtung auf die Pole und zu entsprechend veränderten Vegetationszonen und -typen.

Bereits geringe Änderungen in der CO_2-Konzentration können den Energiehaushalt der Atmosphäre so verändern, daß wiederum Rückwirkungen auf die Biosphäre zu erwarten sind. In den globalen Kohlenstoffhaushalt gehen die Orte der Kohlenstoffreservoirs, deren Größe und die Kohlenstoffflüsse ein. Die Vegetation auf den Landflächen entnimmt der Atmosphäre bei der Photosynthese Kohlenstoff und gibt ihn während der Respiration wieder ab. Ein Teil des aufgenommenen Kohlenstoffs wird in Pflanzen (vor allen in den Bäumen) gespeichert. Auch marine Kleinalgen (Phytoplankton) und photosynthetisierende Bakterien setzen große Mengen an Kohlenstoff um (Simpson und Botkin, 1992). Diesen Organismen fehlen jedoch im Gegensatz zu den Bäumen Langlebigkeit und Speicherorgane, um Kohlenstoff über Jahre zu speichern.

Obwohl bekannt ist, daß die terrestrische Vegetation eine wichtige Rolle im globalen Kohlenstoffkreislauf spielt, ist das Wissen über die Größe des Reservoirs und die Flußraten noch nicht ausreichend. Auch mit Hilfe bereits existierender Modelle ist es noch nicht möglich, den globalen Kohlenstoffhaushalt exakt zu berechnen. Über den Kohlenstoff-Pool, der eine wichtige Rolle im Kohlenstoff-Haushalt spielt, liegen Aussagen mit hoher Schwankungsbreite vor. Es ist in Zukunft notwendig, die exakten Größen für die Mengen an Biomasse als Senke ("sink") und als Quelle ("source") zu ermitteln. Hierzu ist es erforderlich, die Beziehung zwischen Wald und Atmosphäre detailliert zu untersuchen, um Aussagen über die Reaktion der Waldbestände in unterschiedlichen Regionen zu erhalten. Dazu werden im Rahmen des EUREKA-Projektes EUROTRAC Untersuchungen an weitverbreiteten Nadelwaldtypen durchgeführt (Enders et al., 1992). In diesem Rahmen wird der Einfluß wichtiger meteorologischer Einflußgrößen auf die lokalen Quellen, die Orte des Verbrauchs, die Stoffflüsse und den Haushalt verschiedener Schadgase untersucht.

Die Struktur der Vegetation beeinflußt die Oberflächenrauhigkeit und die Windgeschwindigkeit, zumindest regional; Wälder haben daher einen dämpfenden Effekt auf den Wind. 20 % des Wasserdampfes in der Erdatmosphäre stammen aus der Evapotranspiration der terrestrischen Systeme. In einigen Regionen, z.B. in den Tropen, sind die hohen Niederschlagsmengen auf die lokale Evapotranspiration zurückzuführen. Eine durch Vernichtung der Vegetation verursachte Änderung der Evapotranspiration beeinflußt Menge und Verteilung der Niederschläge regional und global und beeinträchtigt daher auch die globale Photosynthese und das Wachstum (Waring und Schlesinger, 1985).

Anthroposphäre

Eine schwerwiegende Folge im Bereich der Anthroposphäre ist die Vernichtung des Lebensraums eingeborener Bevölkerungsgruppen. Die wenigen dieser Jahrtausende alten Kulturen, die heute noch existieren, werden in den nächsten 30 Jahren ausgestorben sein, falls keine entsprechenden Maßnahmen getroffen werden. Die Möglichkeit zu einer nachhaltigen wirtschaftlichen Nutzung (Früchte, Pflanzen, Holz etc.) der Wälder, die den heute vorherrschenden Nutzungsweisen oftmals auch unter Effizienzgesichtspunkten überlegen sein dürfte, geht damit ebenfalls verloren. Weitere sozioökonomische Aspekte sind die Zunahme sozialer Spannungen aufgrund von Landnutzungskonflikten sowie Migrationsprobleme ("Umweltflüchtlinge").

Schädigungen von Wäldern der gemäßigten Zone haben im Bereich der Anthroposphäre negative Folgen für die Forstwirtschaft, für Wasser und Boden sowie Freizeit und Erholung und nicht zuletzt für den Wald als Kulturgut. Hervorzuheben ist die wahrscheinlich recht große Klimabedeutsamkeit der borealen Wälder.

Phänomene der Natursphäre

Verknüpfung zum globalen Wandel

Luft: Waldvernichtung und Degradierung führen u.a. zur Emission klimarelevanter Spurengase und sind demnach auch Ursache des zusätzlichen Treibhauseffekts; Klimaänderungen verursachen wiederum eine Schwächung insbesondere von Waldökosystemen der gemäßigten Zone ("Klimastreß") bzw. deren Vernichtung im Falle einer zu schnellen Verschiebung der Vegetationszonen.
Wasser: Verringerung von Niederschlagsmengen (Verlängerungen von Trockenzeiten); Verringerung der Wasserspeicherkapazität des Bodens; Beeinträchtigung der Versorgung von Wasserläufen und der Regulierung des Grundwasserstandes.
Boden: Nährstoffauswaschungen; Erosion; Zunahme von Lawinen, Erdrutschen in Gebirgen.

Phänomene der Anthroposphäre

Bevölkerung: Bevölkerungsdruck sowie Migrationen und Siedlungspolitik als Ursachen der Umwandlung von Waldfläche; andererseits Verdrängungsprozesse aufgrund direkter Folgeschäden (wie Erosion) der Waldreduktion.
Wirtschaftliche Entwicklung: Armut als Ursache von Waldzerstörung (Mangel an Wissen, Fähigkeiten, Produktionsverfahren sowie andere Präferenzstruktur); andererseits Waldzerstörung langfristig als Verlust an Entwicklungspotential; Industrialisierung als Ursache für Waldschäden (Schadstoffemission; Landverbrauch in den gemäßigten Zonen); andererseits Bereitstellung von Wissen (Präferenzen) und Handlungspotential (technisch, institutionell, pekuniär) zum Waldschutz; Ziel einer "nachhaltigen Entwicklung".
Verkehr: Schadstoffemission als eine Schadensursache von Waldschäden in gemäßigten und borealen Zonen.
Werte: je nach Kulturkreis stark divergierende Bewertung des Waldnutzens (z.B. Vorstellung vom "Wald als Feind des Menschens" in Teilen Südamerikas und Südeuropas); die Vorstellung von der "Unbegrenztheit" vorhandener Waldbestände in Rußland und partiell der Tropenwälder als Ursache für übermäßige Nutzung.
Wissenschaft und Technologie: neue Agrartechnologie (flächensparender, effizienter) als Instrument des Waldschutzes insbesondere in den Tropenwaldländern.
Institutionen: einerseits betreiben bestehende Institutionen auf staatlicher und nichtstaatlicher Ebene Waldschutzprojekte (siehe etwa einzelne Programme des UNEP); andererseits verursachen bestehende Institutionen etwa im Bereich internationaler Handelsregime eher Waldübernutzung; Notwendigkeit einer internationalen Waldkonvention.

Bewertung

Anders als die Ozonhülle der Erde oder, abgeschwächt, die Weltmeere ist der Wald ökonomisch gesprochen nicht in allen seinen Funktionen ein "globales öffentliches Gut". Für die Eigentümer-Länder, insbesondere soweit sie zu den wirtschaftlich weniger entwickelten Ländern bzw. Schwellenländern gehören, stehen oftmals die Gewinne aus seiner kurzfristigen Nutzung als Konsum- und Investitionsgut oder Standort im Vordergrund (Wald als regionales oder nationales öffentliches Gut). Diese kurzfristig orientierten Nutzungsarten sind in der gegenwärtigen Form sehr häufig mit Schädigungen der Waldsubstanz verbunden. Ein Gut von globaler Bedeutung ist der Wald jedoch als oberirdischer Kohlenstoffspeicher sowie weiterhin als Lebensraum für die meisten Arten der Erde, denn diese Funktionen dienen prinzipiell allen Staaten der Erde. Die Schäden durch die Zerstörung der Waldbestände betreffen also zum einen die Eigentümer-Länder selbst, zum anderen sind sie weltweiter Art. Ein gewisses Spannungsverhältnis zwischen nationalen Verfügungsrechten und globalem Interesse ist daher charakteristisch für die gesamte Waldproblematik.

Grundlage umweltpolitischen Handelns in Industrie- und Entwicklungsländern ist in diesem Zusammenhang die Feststellung des Wertes der gegenwärtig praktizierten Waldnutzungsformen und ihrer Alternativen unter Einbeziehung der Kosten etwaiger umweltpolitischer Maßnahmen. Die Bewertungsfragen werden im Kapitel der biologischen Vielfalt genauer analysiert, weil dieses Beispiel wegen seiner besonderen Schwierigkeit alle Arten von Bewertungsproblemen darzustellen erlaubt. Ursachen für Schwierigkeiten der Feststellung des Wertes des weltweiten Waldbestandes oder auch einzelner Waldformationen bestehen insbesondere darin, daß Wald wie erwähnt in vielfacher Hinsicht auch als globales öffentliches Gut interpretiert werden muß, wenn etwa die Funktionen für das Klima oder als Gen-Pool betrachtet werden. Die Verursacher der Waldreduktion und diejenigen, denen die globale Rolle des Waldes wichtig ist, finden sich nämlich größtenteils in verschiedenen Erdteilen und höchst unterschiedlichen Einkommenslagen und kommen daher zu völlig verschiedenen Einschätzungen von Problemlage sowie von Handlungsnotwendigkeit und -möglichkeiten. Dies alles wird dadurch noch zusätzlich erschwert, daß die Folgen eine Berücksichtigung der Wertschätzung auch zukünftiger Generationen unumgänglich erscheinen läßt.

Die Schwierigkeiten des Vorgehens bei der Bewertung seien hier am Beispiel der Reduktion der Tropenwälder durch die Eigentümerländer (zwecks wirtschaftlicher Nutzung im engeren Sinne, also für Agrarfläche, Holzeinschlag u.a.) gezeigt, der zur Vereinfachung lediglich die Nutzen eines nicht-zerstörten Waldbestandes in Form eines stabilen Klimas für alle Nationen gegenübergestellt wird. Dazu sind mehrere Schritte erforderlich:

(1) Zunächst geht es darum, die Vorteilhaftigkeit der gegenwärtig praktizierten Nutzungsweise festzustellen. So zeigen sich im Durchschnitt für 40 untersuchte Tropenwaldländer relativ hohe Anteile am nationalen Sozialprodukt, am Export und auch hinsichtlich der Beschäftigungseffekte durch die gegenwärtig praktizierten Nutzungsformen. Dieser Nutzen besteht aber in der Regel nur kurz- bis mittelfristig, d.h. die Wirtschaftsweise ist langfristig als ökonomisch nicht rationell zu bezeichnen; Untersuchungen zeigen, daß nachhaltige Nutzung effizienter wäre (Amelung und Diehl, 1992).

(2) Des weiteren ist die Bewertung einer Klimaerwärmung - soweit sie durch eine Reduktion der Tropenwälder zu befürchten ist - erforderlich, was weitaus schwieriger ist, da es sich bei dem Gut "stabiles Klima" eindeutig um ein globales öffentliches Gut handelt. Eine gewisse Aussage ist möglich, wenn ein recht pessimistisches Szenario unterstellt wird. Finden Klimaerwärmungen hinsichtlich Umfang, Verteilung und zeitlicher Dimension in einer Weise statt, die natürlichen und sozioökonomischen Systemen kaum eine Anpassung erlaubt, so würden die Kosten einer solchen Entwicklung - aus anthropozentrischer Sicht - drastisch anstei-

gen. Um dies zu vermeiden, besteht die Notwendigkeit der Definition von Mindest-Qualitätsnormen in enger Zusammenarbeit mit den Naturwissenschaftlern.

(3) Schließlich müssen die Kosten möglicher umweltpolitischer Maßnahmen berücksichtigt werden und, nach Auswahl der vorteilhaftesten Maßnahme, den zuvor festgestellten Kosten der unterlassenen Umweltpolitik gegenübergestellt werden. Über die tatsächlich sehr unterschiedlichen Effizienzgrade umweltpolitischer Maßnahmen liegen verschiedene Studien vor. So werden beispielsweise Projekte zur Regenwalderhaltung mittels Nutzen-Kosten-Analysen evaluiert. Der auf dieser Basis berechnete notwendige Transfer an das Tropenwaldland liegt demnach zwischen 15 und 1.575 ECU pro km^2 pro Jahr. Die Erhaltung des gesamten Korup-Nationalparks etwa würde nach einem solchen Kalkül für Kamerun erst ab einem einmaligen Mittelzufluß in Höhe von 5,4 Mio. ECU interessant (Ruitenbeek, 1992). Speziell diese Untersuchung verfolgt den Zweck, Grundlagen für Geberländer bei der Entscheidung zwischen verschiedenen Projekten zu liefern. Studien zur Quantifizierung ausgewählter Schäden und eine Gegenüberstellung mit den Kosten der zu ihrer Behebung notwendigen Maßnahmen sind aus diesem Bereich bislang noch nicht bekannt.

Eine Bewertung der Waldproblematik im allgemeinen kann wohl nicht in einer Form vorgenommen werden, die aus ökonomischer Sicht befriedigt. Selbst die scheinbar leicht zu treffenden Urteile über ökonomischen Wert oder "Unwert" der Nutzungen des Waldes durch die Tropenwaldländer selbst können nicht durch rechnerisches Kalküls zu operablen Aussagen führen; denn umweltpolitisches Handeln hat besonders auf der internationalen Ebene eine Reihe gewichtiger außerökonomischer Umstände sowie einige zwar ökonomische, jedoch kaum operationalisierbare Größen zu berücksichtigen. Das Erfordernis einer Berücksichtigung etwa der mit der historischen ökonomischen Entwicklung der Industrieländer verbundenen großräumigen Waldreduktion und die Umwandlung verbliebener Bestände in naturferne Ökosysteme, die Achtung politischer Souveränitäten der Eigentümer-Länder sowie die Entwicklung der Weltbevölkerung weisen auf noch bestehende Grenzen der ökonomischen Analyse. Immerhin kann gezeigt werden, daß die jetzige Nutzung unter Berücksichtigung bislang externalisierter Kosten für die Gesamtheit der Staaten teurer sein kann als die Durchführung umweltpolitischer Schutzmaßnahmen. Dabei sind gewisse Transfers von der übrigen Staatengemeinschaft an die die ökologischen Dienstleistungen bereitstellenden Tropenwaldländer nicht als entwicklungspolitisch motivierte Maßnahme, sondern als ein Leistungsentgelt zu interpretieren.

Handlungsbedarf

Eine weitgehende Sicherung des weltweiten Bestandes der Wälder (im Sinne eines Gleichgewichts zwischen Zu- und Abgängen) und die Eindämmung der Degradierung ist sachlich geboten. In vielen Regionen ist auch eine Wiederaufforstung, soweit das noch möglich ist, notwendig. Sind Prioritäten zu setzen, so stünde eine Eindämmung weiterer direkter Eingriffe in das Ökosystem der tropischen Wälder wegen deren großer Bedeutung für die gesamte Staatengemeinschaft im Vordergrund. Es ist jedoch auf die noch nicht einschätzbare Entwicklung in den borealen Zonen hinzuweisen, die insoweit gegenwärtig einen großen Risikofaktor darstellt. Obwohl die nördlichen Wälder für die Klimaentwicklung nicht so bedeutsam sind, ist ein umgehender Stopp großflächiger Abholzung ebenso dringlich wie bei den Tropenwäldern. Auch bei den Wäldern mittlerer Breiten ist aus ökologischer und wirtschaftlicher Sicht zunächst der weitgehende Bestandserhalt, langfristig eine Rückführung in naturnähere Sukzessionsstadien gekoppelt mit der Anwendung nachhaltiger Nutzungsformen, anzustreben.

Eine für die Unterzeichnerstaaten verbindliche Maßnahmen enthaltende Waldkonvention ist auf der UNCED in Rio de Janeiro nicht zustandegekommen. Das ist auch aus ökonomischer Sicht bedauerlich, da nur durch eine solche Einigung die für die Gesamtheit der Staaten kostengünstigste Handhabung der globalen Waldproblematik zu realisieren wäre. Wegen der deutlichen Differenzen, insbesondere zwischen Industrie- und Entwicklungsländern (z.B. Brasilien, Malaysia), wird diese Einigung auch mittelfristig nicht erwartet. Eine Konvention sollte aber nach wie vor im Mittelpunkt der Anstrengungen stehen, da sie auch Lösungen auf nachgelagerter Ebene ermöglicht. Bis zur Einigung auf eine gemeinsame Waldkonvention können aus deutscher Sicht bzw. auf bilateraler und multilateraler Ebene schon zahlreiche Schritte unternommen werden. Verwiesen sei auf vielfältige Institutionen und Initiativen, die bereits vor der UNCED ins Leben gerufen wurden. Hierzu zählen der internationale Tropen-Forstwirtschafts-Aktionsplan ("Tropical Forestry Action Plan", TFAP), Maßnahmen der ITTO, FAO, UNEP, UNESCO sowie Initiativen von Nicht-Regierungsorganisationen, wobei das bundesdeutsche Engagement im internationalen Vergleich positiv hervorzuheben ist (Enquete-Kommission, 1990). Die bisherigen Maßnahmen sind der Schwere des Problems jedoch nicht angemessen. Bei allem generellen Vorzug für dezentral organisierte, ökonomisch motivierte Einigungen besteht mit zunehmendem internationalem Einvernehmen über die globale Bedeutung (Einmaligkeit; Irreversibilität) und damit Schutzwürdigkeit von Wäldern die Notwendigkeit einer wirksameren und schneller greifenden Lösung im Rahmen einer völkerrechtlich verbindlichen Waldkonvention. Dabei ist die Vereinbarkeit mit der Klimakonvention sowie den Zielen wirtschaftlicher Entwicklung erforderlich.

Hinsichtlich der politischen Durchsetzbarkeit sind aus Sicht der betroffenen Länder am einfachsten solche Maßnahmen zu treffen, die für die Regierungen

keine finanziellen Aufwendungen mit sich bringen und sowohl zur wirtschaftlichen Entwicklung als auch zum Umweltschutz beitragen. Beispielhaft seien die Beseitigung von Subventionen für Holzwirtschaft und Viehzucht oder die Sicherung der Landrechte der Bauern angeführt. Weiterhin gibt es öffentliche Investitionen, die sich sowohl für die Umwelt als auch für die Wirtschaft positiv auswirken, wie z.B. Aufwendungen für die Bodenerhaltung oder die Ausbildung. In diesem Zusammenhang ist die Verbreitung neuer Agrartechnologien, mit denen vorhandene Flächen intensiver und nachhaltiger genutzt werden können eine wichtige Maßnahme. Erst dann folgen die kostenintensiven Umweltschutzmaßnahmen, d.h. solche, die ausschließlich das Marktversagen ausgleichen; Instrumente dieser Kategorie wären etwa die vermehrte Ausweisung von Schutzgebieten oder die Erhebung von Gebühren für Holzeinschlag (Weltbank, 1992).

Aber auch für die Wälder der gemäßigten Zonen besteht Handlungsbedarf. Zwar konnte der Ausstoß an Schwefeldioxid durch geeignete Maßnahmen drastisch gemindert werden; die deutliche Abnahme der Stickoxide und des Ammoniaks steht jedoch noch aus. Hier sind geeignete Konzepte für das Verkehrswesen und die Landwirtschaft zu entwickeln (siehe 1.1 und 2.2)

Maßnahmen auf internationaler Ebene

- Laut Enquete-Kommission: Sofortprogramm zum Schutz der tropischen Wälder fortschreiben.
- Internationale Konvention zum Schutz der tropischen Wälder (einschl. Finanzierungs- und Sanktionsmechanismen) anstreben, insbesondere auch durch die Bundesrepublik Deutschland. Die Mittel sollten in einem zweckgebundenen Sonderfonds angesammelt werden, weil die Zweckbindung für den auch in den Geberländern hochgeschätzten Tropenwald die Aufbringung der Mittel erleichtert.
- Verstärkung und Ausweitung der Programme und Institutionen innerhalb der UN zum Schutz der tropischen Wälder:
  - Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP).
  - Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO).
  - Organisation der Vereinten Nationen für Erziehung, Wissenschaft und Kultur (UNESCO).
- Innerhalb des GATT: Verhandlungen über Einführung sozial- und umweltgerechter Mindeststandards (siehe auch Enquete-Kommission).
- Ausbau von Kompensationslösungen.
- Internationale Anstrengungen zum Abbau der Verschuldungsprobleme.
- Umwandlung des bestehenden Tropenwaldaktionsprogramms in Tropenwald-Schutzpläne, weil es derzeit noch zu stark auf Nutzung denn auf Schutz abstellt.

Maßnahmen auf nationaler Ebene

a) *prinzipiell alle Länder:*
- Schaffung bzw. Stärkung der Möglichkeiten zur Planung, Bewertung und systematischen Beobachtung der Wälder.
- Begrünung von Brachflächen durch Waldsanierung, Wiederaufforstung und andere Wiederherstellungsmaßnahmen.

b) *speziell Tropenwaldländer:*
- vermehrte Ausweisung von Schutzgebieten (Gesamtschutz des Primärwaldes).
- Beseitigung von Subventionen für Holzwirtschaft und Viehzucht;
- Sicherung der Landrechte der Bauern.
- Investitionen in die Bodenerhaltung oder in Ausbildung (z.B. Verbreitung neuer Agrartechnologie).
- Erhebung von Gebühren für Holzeinschlag.

c) *speziell Länder mit borealen Wäldern:*
- Erstellung einer Waldinventur und eine systematische Schadenserhebung.
- Entwicklung langfristig sinnvoller Waldnutzungskonzepte.

d) *spezieller Beitrag der Bundesrepublik Deutschland:*
- Bereitstellung von Kapital, Wissen und Technologie zum Schutz der Wälder.
- Schuldenerleichterungen für Tropenwaldländer.
- Beachtung der Umweltverträglichkeit zwischenstaatlichen Handelns.
- Wiederaufforstung in noch ungeklärtem Ausmaß in der Bundesrepublik Deutschland.

Historische Entwicklung des politischen Handelns auf internationaler Ebene (Grundzüge)

	national	*international*
1) Charta, Konvention		auf UNCED, Rio, nur Wald*erklärung*
2) Protokoll		offen
3) Gesetzestexte		offen
4) Instrumente	z.B. nachhaltige Bewirtschaftung, Schutzzonen	z.B. Kompensationslösungen

5) Finanzieller Rahmen	300 Mio. DM Brasilien-Programm nicht abgerufen; dann über Weltbank geleitet	Schätzwerte in AGENDA 21
6) Durchsetzung		offen

Relevanz für Rio-Folgen (AGENDA 21; deutsche Sicht)

A.
- Erhaltung der vielfältigen Aufgaben und Funktionen aller Waldarten, Waldflächen und Wälder
- Verstärkung der institutionellen und personellen Kapazitäten für die Verwaltung, Erhaltung und Entwicklung der Wälder sowie ihrer nachhaltigen Nutzung und der Produktion von Walderzeugnissen
- Aufbau und Fortschreibung eines detaillierten Informationssystems über bestehende und aufzuforstende Waldflächen und deren Nutzung unter demographischen und sozioökonomischen Aspekten

Kostenschätzung: 2,5 x 10^9 US-$/a (1993 - 2000)

B.
- Erhöhung des Schutzes, der nachhaltigen Verwaltung und der Bewahrung aller Wälder sowie die Begrünung von Brachflächen durch Waldsanierung,Wiederaufforstung und andere Wiederherstellungsmaßnahmen
- Aufstellung von Programmen zur Erhaltung und Ausdehnung bewaldeter Flächen im Hinblick auf ihre ökologische Ausgleichsfunktion sowie ihren Beitrag zum Bedarf und zum Wohlergehen der Menschen
- Nutzung der Schutzfunktion des Waldes durch Aufforstung im Gebirge, von Hochland, Brachland, ariden und semiariden Flächen und Küstengebieten, besonders zur Verhinderung der Erosion und Wüstenbildung sowie zur Verbesserung der Funktion als Kohlenstoffspeicher und -senke
- Verbesserung des Schutzes der Wälder vor Luftverunreinigungen, Bränden, Krankheiten, Schädlingsbefall und anderen anthropogenen Einflüssen, z.B. Einführung nicht heimischer Tier- und Pflanzenarten
- Unterstützung der Entwicklungsländer bei der Schonung ihrer Waldressourcen durch Einschränkung des Verbrauchs tropischer Hölzer, Verbesserung der Energieversorgung und Schaffung anderer Einkommensmöglichkeiten.

Kostenschätzung: 10 x 10^9 US-$/a (1993 - 2000)

C.
- Förderung einer wirksamen Nutzung und Bestandsaufnahme für eine vollständige Bewertung der Güter und Leistungen durch Nutzung der Wälder
- Verbesserung der Methoden zur Einbeziehung des Waldes in die nationalen Systeme der Kostenrechnung
- Entwicklung von Methoden für eine multifunktionale Nutzung unterschiedlicher Waldarten im Hinblick auf Holz und andere Waldprodukte, die touristische Nutzung und die ökologischen Funktionen des Waldes

- Unterstützung der Entwicklungsländer bei der Erhaltung und Wiederherstellung ihrer Wälder als nachhaltige Wirtschaftsgrundlage und bei der Entwicklung geeigneter Technologien zur Weiterverarbeitung von Holz und anderer Waldprodukte zu verkaufsfähigen Erzeugnissen

Kostenschätzung: 18×10^9 US-$/a (1993 - 2000)

D.
- Schaffung bzw. Stärkung der Möglichkeiten zur Planung, Bewertung und systematischen Beobachtung der Wälder sowie diesbezüglicher Programme, Projekte und Aktivitäten einschließlich Handel und Produktion
- Einführung oder Verbesserung von Systemen zur Erfassung des Zustandes sowie der Veränderungen von Waldflächen sowie zur Abschätzung von Einflüssen bestimmter Maßnahmen auf Umwelt, soziale und wirtschaftliche Entwicklung
- Unterstützung der Entwicklungsländer beim Aufbau von Institutionen und der Einführung von Methoden für eine langfristige Planung im Hinblick auf eine wirksame Erhaltung, Verwaltung, Wiederherstellung und nachhaltige Entwicklung ihrer Waldbestände

Kostenschätzung: 750×10^6 US-$/a (1993 - 2000)

Forschungsbedarf

- ❑ Zusammenwirken aller Verursachungsfaktoren, getrennt nach Tropenwald und neuartigen Waldschäden; jeweils aufeinander abgestimmt naturwissenschaftliche und sozioökonomische Analyse.
- ❑ Weitere Untersuchungen zu Möglichkeiten einer nachhaltigen Waldnutzung in den tropischen Wäldern, den Wäldern der gemäßigten Zonen und den borealen Wäldern. Prüfung der Wirtschaftlichkeit einer nachhaltigen Forstwirtschaft.
- ❑ Prüfung von Möglichkeit, Notwendigkeit und Ausmaß von Wiederaufforstungsprogrammen in den verschiedenen Waldzonen, darunter auch in der Bundesrepublik Deutschland.
- ❑ Rolle der borealen Wälder in den Stoffkreisläufen der Erde und als regionaler klimastabilisierender Faktor (z.B. Windbeeinflußung durch Oberflächenrauhigkeit).
- ❑ Wechselwirkungen zwischen Waldökosystemen und CO_2-Konzentration in der Atmosphäre (Rolle der Wälder als Kohlenstoffsenke).
- ❑ Wechselwirkung zwischen biologischer Vielfalt und Stabilität in Waldökosystemen.
- ❑ Untersuchungen zur Implementierbarkeit politischer Maßnahmen mit dem Ziel der Einigung auf eine Waldkonvention, insbesondere nach den Erfahrungen der UNCED.
- ❑ Analyse des Zusammenhangs von Waldschutz und wirtschaftlicher Entwicklung, nach Waldzonen.
- ❑ Analyse einzelner Typen von Maßnahmen ökonomischer Art gegen die Waldreduktion.
- ❑ Entwicklung ökonomischer Bewertungsverfahren, die wirtschaftliche sowie umwelt- und sozialverträgliche Aspekte einbeziehen.

1.5.2 Abnahme der biologischen Vielfalt

Kurzbeschreibung

Zwei der wichtigsten globalen Umweltveränderungen, die Klimaänderungen und die Zerstörung von Lebensräumen einzelner Arten bzw. ganzer Lebensgemeinschaften, werden erhebliche Auswirkungen auf die biologische Vielfalt haben. Unter "biologischer Vielfalt" bzw. "biologischer Diversität" werden die Anzahl und die Variabilität unter lebenden Organismen jeglicher Herkunft sowohl innerhalb einer Art als auch zwischen den Arten und den Ökosystemen verstanden. Der Begriff "Artenvielfalt" im engeren Sinne beinhaltet die Anzahl der Arten sowohl innerhalb einer bestimmten Biozönose als auch weltweit, wird aber häufig - und so auch oft in diesem Gutachten - als Synonym für biologische Vielfalt verwendet. Die biologische Vielfalt bildet die Grundlage für die biologischen Ressourcen. Diese umfassen genetische Ressourcen, Organismen - oder Teile davon - sowie Populationen, die einen tatsächlichen oder potentiellen Wert für die Menschheit haben.

Die genaue Zahl der auf der Welt existierenden Arten ist nicht bekannt. Die Schätzungen der Biologen schwanken zwischen 5 und 30 Millionen, wobei allerdings erst 1,4 Mio. Arten klassifiziert worden sind. Diese lückenhafte Informationsbasis läßt eine exakte Aussage über die gefährdeten oder bereits ausgerotteten Arten nicht zu; viele Arten sterben aus, bevor sie überhaupt bekannt geworden sind. Jüngere Analysen der tropischen Wälder, welche das größte Reservoir der biologische Vielfalt darstellen, kommen zu dem Ergebnis, daß bei dem gegenwärtigen Tempo der Habitatzerstörung bis zum Jahr 2040 17 bis 35 % der Arten der tropischen Wälder vom Aussterben bedroht sind, das entspricht - ausgehend von weltweit 10 Mio. Arten - 20 bis 75 Arten pro Tag. Weltweit wird in den nächsten 25 Jahren, wenn sich nichts entscheidendes ändert, mit dem Aussterben von 1,5 Mio. Arten gerechnet.

Neben den genannten tropischen Wäldern zählen zu den wichtigsten Habitaten die Wälder der gemäßigten Breiten, die Habitate winterfeuchter Subtropen (Südeuropa, Nordafrika, die Kapregion Südafrikas und bestimmte Regionen Kaliforniens) und Inseln.

Die Klassifizierung der Arten mariner Ökosysteme ist noch weitaus lückenhafter als jene der terrestrischen Ökosysteme. Deren Artenreichtum darf nicht unterschätzt werden. Korallenriffe sind, wie auch die Regenwälder, für ihre reichhaltige Vielfalt bekannt. Zudem zeigen neuere Untersuchungen, daß auch die Tiefsee über eine große Artenvielfalt verfügt (World Resources, 1992).

Generell verfügen die gemäßigten Breiten eher über große Populationen, aber weniger Artenreichtum, während sich die tropischen Regionen durch großen Artenreichtum bei kleiner Populationsgröße auszeichnen. Der größte Artenreichtum findet sich entsprechend in Zentral- und Südamerika und Südostasien,

also dort, wo auch der größte Teil der Regenwälder beheimatet ist. Sowohl die nördlichen Länder, wie Kanada, Norwegen, Schweden, Finnland und Rußland, als auch südliche Länder, wie Argentinien und Chile, sind durch vergleichsweise geringe Artenvielfalt gekennzeichnet (World Resources, 1992).

Welche Funktionen hat die Biodiversität bzw. der Verlust an Arten für die Biosphäre und besonders für die Menschheit? Der Verlust an Arten hat viele Dimensionen. Zu den ethischen Aspekten zählt die Frage, ob die Menschheit das Vorrecht hat, in die Schöpfung derart drastisch einzugreifen und Pflanzen- und Tierarten auf dem Planeten zu eliminieren. Es gibt ästhetische und kulturelle Gründe, Arten oder ganze Landschaften, die einzigartig sind, zu erhalten. Verwiesen sei in diesem Zusammenhang auf die Darstellung von Tieren und Pflanzen in Religion, Kunst, Architektur und Mode bzw. als Machtsymbol sowie auf die Rolle der biologische Vielfalt für Erholung und Tourismus. Desweiteren nutzt die Menschheit wilde Arten als genetische Basis für die Entwicklung von Pharmaka sowie für die Züchtung von Nutzpflanzen und -tieren. Die Einkreuzung von Wildformen ist entscheidend für die Resistenz und damit die Leistungsfähigkeit von Kulturarten, die wiederum die Ernährungsbasis für die Menschheit darstellen. Daneben gibt es eine Vielzahl weiterer pflanzlicher Rohstoffe, wie z.B. Holz, Kautschuk und Naturfasern. Schließlich ist auf den wissenschaftlichen Nutzen der Artenvielfalt hinzuweisen; viele noch nicht beschriebenen Arten können biologische Eigenschaften besitzen, die helfen, das Verständnis der Natur weiter zu fördern.

Ein eher indirekter, aber außerordentlich hoher Nutzen fließt der Menschheit aus der Stabilität von Ökosystemen zu, die eng mit der biologischen Vielfalt verknüpft ist. Intakte Ökosysteme stellen die Grundlage für die Trinkwasserversorgung, die Regeneration von Böden, Reinhaltung der Luft und die Klimaregulation auf lokaler und regionaler Ebene dar (Solbrig, 1991; Hampicke, 1991).

Um ein möglichst hohes Maß an Quantität und Qualität sich erneuernder natürlicher Ressourcen für die Gegenwart und die Zukunft zu sichern, müssen die Ressourcen nachhaltig genutzt werden. Das heißt, es muß das richtige Verhältnis zwischen der Ressourcennutzung einerseits und der Regeneration von Wäldern, Savannen, Grasland und anderen Ökosystemen andererseits gefunden werden.

Große Gefahren drohen der biologischen Vielfalt durch Änderungen in der Landnutzung. Zur Gewinnung landwirtschaftlicher Nutzfläche und zur Verbesserung der Infrastruktur werden große Teile des tropischen Regenwaldes und damit viele, auch unbekannte, Arten vernichtet. In den entwickelten Industrieländern sind die Arten vor allem durch die Fragmentierung der Landschaft, hervorgerufen durch deren Zersiedelung und die Erweiterung des Verkehrsnetzes sowie durch Übernutzung von natürlichen Ressourcen und

durch eine zunehmende Umweltverschmutzung gefährdet. Um der weiteren Verarmung der Natur und der Lebensgrundlagen der Menschheit wirksam entgegenzuwirken, bedarf es nicht nur des Schutzes einzelner, vom Aussterben aktuell bedrohter Arten; es muß vielmehr der Bestand der Pflanzen- und Tierwelt in ihrem Lebensraum erhalten bleiben. Dazu sind große Anstrengungen im nationalen und internationalen Rahmen notwendig, um einerseits wissenschaftlich fundierte Aussagen zur Rolle und zum Schutz der biologischen Vielfalt zu treffen und diese andererseits zur Grundlage politischen Handelns zu machen.

Ursachen

Die Suche nach Maßnahmen zum Schutz der biologischen Vielfalt erfordert zunächst die Analyse der Ursachen der Bedrohung bzw. des Aussterbens von Arten. Folgende Ursachenkomplexe lassen sich definieren, die aktuell oder potentiell zur Vernichtung von Arten beitragen:

- Zerstörung bzw. Fragmentierung der Lebensräume (Habitate) von Arten bzw. Lebensgemeinschaften;
- Vernichtung oder Verdrängung von Arten durch Schadstoffeinträge in die Medien Luft, Wasser und Boden;
- Artenverluste durch *anthropogene Eingriffe*, die durch die natürliche Reproduktion des Ökosystems nicht mehr ausgeglichen werden können;
- Verschleppung von Arten in andere Lebensräume, in denen sie das ökologische Gleichgewicht stören.

Nach vorliegenden Schätzungen wird ein Anteil von weniger als 0,1 % der in der Natur vorkommenden Arten direkt durch den Menschen genutzt (Perrings, 1992). An der Ausrottung einzelner Tiere und Pflanzen entzündet sich zwar immer wieder die öffentliche Diskussion, insbesondere, wenn "populäre" Tiere, wie Elefanten, Wale, Pandabären oder Seehunde, betroffen sind: die Bedrohung der Artenvielfalt rührt aber weniger aus der direkten Nutzung einzelner Arten her, sondern vorwiegend aus der Zerstörung der Habitate. Menschliche Aktivitäten, wie Änderung der Landnutzung, Urbanisierung, infrastrukturelle Entwicklung und Industrialisierung, führen direkt zur Zerstörung von Habitaten; indirekt werden sie geschädigt durch Nutzung und Ausbeutung von Umweltressourcen sowie Einleitung von Schadstoffen in die Luft, das Wasser und den Boden. Maßnahmen der Emissionsbegrenzung dienen folglich auch dem Artenvielfaltschutz.

Struktur und Funktion eines Ökosystems werden aufrechterhalten durch Rückkopplungen zwischen den Organismen und ihrer Umgebung. Die physikalische Umgebung beeinflußt Wachstum und Entwicklung von biologischen Subsystemen, die wiederum aktiv ihre physikalische Umwelt modifizieren. Arten und Umwelt sind in ein Netz von Interaktionen (Beziehungen) eingebunden. Die treibende Kraft für jedes dieser Systeme ist die Sonnenenergie, die auf das System einwirkt und damit den für die Selbstorganisation und -erhaltung

notwendigen Energie- und Stoffffluß im System erst ermöglicht. Es ist diese Fähigkeit der Selbstorganisation, die nach Streßeinwirkung das Funktionieren des gesamten Systems aufrechterhält. In einem belasteten Ökosystem wird dagegen der interne Stoffkreislauf beeinträchtigt; das System ist abhängig von der externen Zuführung von Energie.

Alle sich selbst organisierenden Systeme benötigen ein Minimum an biologische Vielfalt, um Sonnenenergie einzufangen und eine zyklische Beziehung zwischen Produzenten, Konsumenten und Destruenten (zersetzenden Organismen) aufzubauen. Wird dieses Minimum unterschritten, dann kann das Ökosystem nicht mehr funktionieren, es bricht zusammen. Es herrscht jedoch Unklarheit über die notwendige Mindestzahl an Arten, die zur Erhaltung der Stabilität des jeweiligen Ökosystems erforderlich sind.

Zu den direkten menschlichen Schädigungen von Ökosystemen zählt die vor allem in den Tropen übliche Brandrodung, die eine der Ursachen für die Vernichtung großer Teile des Regenwaldes darstellt. Rasch einsetzende Degradierung der Böden und Erosion sind die Folge. In den Industrieländern hat die Intensivierung der Landwirtschaft zur Vergrößerung der Schläge (mit entsprechender Erosionsgefahr), vermehrtem Einsatz von Düngemitteln (Verarmung an Arten mit geringem Nährstoffanspruch, Eutrophierung der Gewässer, Störung des Gleichgewichts aquatischer Systeme) und Pflanzenschutzmitteln (Verschmutzung von Grund- und Fließgewässern und von aquatischen Ökosystemen) sowie zum Anbau bzw. zur Haltung einer geringen Zahl von leistungsstarken Nutzpflanzen bzw. Tierarten und -rassen (Rückgang der Vielfalt an Kulturarten und -sorten) geführt. Eine besonders wichtige Rolle spielt die Vegetation und deren Artenvielfalt im Ökosystem, da sie das Habitat (den Lebensraum) für die Fauna darstellt.

Die Adaption verschiedener Arten an geänderte Umweltbedingungen wird abhängen von ihrer genetisch und physiologisch bedingten Toleranz gegenüber Belastungen, ihrer Fähigkeit zur Ausbreitung und ihrer Habitatspezifik. Tierarten beispielsweise, die sich auf ganz bestimmte Vegetationstypen spezialisiert haben, sind gefährdeter als weniger spezialisierte Arten.

Die bisher genannten Phänomene sind vermutlich nicht die eigentlichen Triebkräfte des Verlustes an Artenvielfalt. Die Diskussion der Funktionen der biologischen Vielfalt hat deutlich gemacht, daß die gesamte internationale Staatengemeinschaft Nutzen aus dieser Ressource zieht und entsprechend auch von den Schäden der Reduzierung der Artenvielfalt betroffen ist. Artenvielfalt ist insoweit ein "globales öffentliches Gut", das zunehmend geschädigt wird. Zu fragen ist dann, warum die biologische Vielfalt aus nationaler Sicht häufig anders bewertet wird als aus globaler Sicht. Oder anders ausgedrückt: Warum kommt es zum Konflikt von nationalen und globalen Interessen? Hier lassen

sich verschiedene Formen des Markt- und Staatsversagens identifizieren, die im folgenden kurz skizziert werden sollen.

Aus den zuvor genannten Funktionen der biologischen Vielfalt sind zumindest zwei Nutzenarten herauszufiltern, die der gesamten internationalen Staatengemeinschaft zugute kommen: Zum einen stellt die Artenvielfalt Informationen bereit, beispielsweise für die Entwicklung neuer Medikamente, zum anderen liefert sie Sicherheit, beispielsweise durch die Möglichkeit zur Erhöhung der Resistenz von Kulturpflanzen durch Einkreuzung natürlicher Arten oder Unterarten; der Erhalt der biologische Vielfalt stellt in diesem Sinne also eine Art Versicherung für zukünftige, potentielle Risiken, z.B. in Form von Krankheiten oder fehlender Schädlingsresistenz, dar. Obwohl diese Funktionen für die Menschen von Wert sind, gibt es keine Marktmechanismen, die diese Werte den Besitzern der Arten oder auch den Entdeckern der Ressource zugute kommen lassen. Sie sind bisher vielmehr Güter, deren Nutzung jedem Individuum bzw. Land freisteht, ohne daß die Nachfrage auf dem Markt artikuliert werden muß und ohne daß ein Preis zu zahlen wäre. Deshalb sind keine ausreichenden Anreize zum Erhalt dieser Ressource vorhanden, die ihre effiziente Verwendung sicherstellen (Swanson, 1992).

Verschärft wird diese Problematik andererseits durch staatliche Eingriffe, z.B. in Form von Subventionen. Insbesondere die Land- und Forstwirtschaft sind hier zu nennen, die den am stärksten subventionierten Sektor sowohl in den meisten Industrie- als auch in der Mehrzahl der Entwicklungsländer darstellt. Beispielhaft seien die Landwirtschaftspolitik der EG und Subventionen an die Forstwirtschaft in Brasilien genannt, die die Preisrelationen zuungunsten des Artenvielfaltschutzes verzerren: Die privaten Kosten der Übernutzung von Arten oder Ökosystemen sinken, und es steigen die Anreize zur Ausdehnung und Intensivierung der Land- und Forstwirtschaft. Der Marktmechanismus wird durch die Politik also bewußt außer Kraft gesetzt; durch den Abbau dieser Subventionen könnte er wieder wirksam werden (Staatsversagen).

Für viele Bereiche der Natur sind keine individuellen Eigentums- und Verfügungsrechte festgelegt, oder sie werden nicht durchgesetzt. Dies gilt für einzelne Arten, Landflächen, Wasserläufe usw. Die unzureichende Definition und Zuweisung von Eigentumsrechten ist dafür verantwortlich, daß niemand von der Nutzung der Natur ausgeschlossen werden kann. In dieser Situation setzen sich in der Regel nicht diejenigen Individuen und Unternehmen durch, deren Existenz von einer nachhaltigen Nutzung der Ressource abhängig ist oder die die Natur geschützt wissen wollen, sondern diejenigen, die ohne Blick hierauf eine kurzfristige Nutzen- bzw. Gewinnmaximierung anstreben (Global Biodiversity Strategy, 1992). Es läßt sich also feststellen, daß der kumulative Effekt sowohl eines Markt- als auch eines Politikversagens ursächlich für die fortlaufende Artenvernichtung ist.

Verknüpfung zum globalen Wandel

Die Verschmutzung der Schutzgüter Luft, Wasser und Boden ist Ursache für den weltweiten Verlust an biologischer Vielfalt. Der Klimawandel kann Einfluß auf den Artenreichtum haben, möglicherweise können sich nur völlig intakte Ökosysteme dem Klimawandel anpassen. Die Destabilisierung und der Verlust von Ökosystemen können negativ auf die anderen Schutzgüter wirken, z.B. in Form der zusätzlichen Freisetzung von CO_2. Maßnahmen zum Schutz anderer Schutzgüter können folglich auch dem Artenvielfaltschutz dienen und umgekehrt. Beispielsweise kommt der Waldschutz dem Artenschutz zugute, wenn beispielsweise Mischwälder aufgeforstet werden.

Bevölkerungswachstum und die damit verbundene erhöhte Nachfrage nach natürlichen Ressourcen wirken in zweifacher Weise auf die biologische Vielfalt: Es steigt zum einen der Druck zur Umwandlung von natürlichen Biotopen, z.B. für landwirtschaftliche Zwecke, zum anderen steigt tendenziell die Emission von Schadstoffen. Diesem Trend kann durch die Stabilisierung der Bevölkerung, durch höhere Effizienz der Ressourcennutzung, durch Erhöhung der Recyclingrate und durch Emissionskontrolle entgegengewirkt werden.

Im Rahmen der möglichen Maßnahmen spielt die Landbewirtschaftung bzw. die ländliche Entwicklung eine entscheidende Rolle. Hier sind Strategien zu entwickeln, die den Druck auf die natürlichen Ressourcen konsequent reduzieren.

Bewertung

Die Auswirkungen einer Verringerung der biologischen Vielfalt für Biosphäre und Anthroposphäre ergeben sich notwendigerweise aus den bereits genannten Funktionen der biologischen Vielfalt (bzw. deren Einschränkungen durch Vielfaltverluste). Wie groß diese Auswirkungen sind, läßt sich erst dann sagen, wenn das Gut "biologische Vielfalt" in irgendeiner Form bewertet worden ist.

Diese Bewertung der biologischen Vielfalt stellt einen zentralen Schritt vor der Zielformulierung, der Erarbeitung politischer Maßnahmen und deren Durchsetzung, dar. Der Umweltbereich "biologische Vielfalt" tritt mit anderen globalen Umweltproblemen zu den bereits bestehenden Umweltproblemen auf nationaler Ebene hinzu. Alle Umweltprobleme gleichzeitig in gleicher Intensität in Angriff zu nehmen, wäre nicht durchführbar und ist darüber hinaus auch nicht effizient. Es ist vielmehr erforderlich, die Gewichte der verschiedenen Politikbereiche gegeneinander abzuwägen, sowie auch innerhalb der Problembereiche Schwerpunkte zu setzen.

Verfahren und Probleme einer ökonomischen Bewertung der biologischen Vielfalt

Der ökonomischen Bewertung der Ressource "biologische Vielfalt" liegt eine utilitaristische, anthropozentrische und instrumentalistische Sichtweise zugrunde: utilitaristisch, weil davon ausgegangen wird, daß eine Art nur dann einen Wert hat, wenn der Mensch Nutzen aus ihr zieht, anthropozentrisch, weil der Mensch den Wert der Art bestimmt, und instrumentalistisch, weil Tiere und Pflanzen als Instrumente zur Befriedigung menschlicher Bedürfnisse angesehen werden. Grundlage der Bewertung sind also die Präferenzen der Individuen (Randall, 1988). Allerdings ist der Wert der Ressource "biologische Vielfalt" für den Menschen nicht so offensichtlich wie beispielsweise der Wert reiner Luft oder sauberen Wassers. Hinzu kommt, wie die Ursachenanalyse gezeigt hat, daß derzeit eine Marktbewertung für die biologische Vielfalt unvollständig und fehlerhaft ist.

Grundsätzlich kann man sich zur Bewertung der Ressource "biologische Vielfalt" der Nutzen-Kosten-Analyse bedienen. Soll beispielsweise abgewogen werden, ob der Erhalt eines Biotops oder als Alternative eine intensive Nutzung als landwirtschaftliche Fläche vorteilhafter ist, muß der Nutzen des Biotoperhaltes dem Nutzen der landwirtschaftlichen Verwendung gegenübergestellt werden. Als optimal (effizient) gilt nach dem Nutzen-Kosten-Prinzip dann das Projekt mit dem größten abdiskontierten gegenwärtigen Nettonutzen.

Der Gesamtwert der biologischen Vielfalt läßt sich dabei durch die Addition der Werte des aktuellen Nutzens (Nutzwert), des erwarteten zukünftigen Nutzens (Optionswert) und des Wertes der Existenz (Existenzwert) ermitteln. Der Nutzwert ergibt sich beispielsweise aus der Nutzung einer Art als Basis für die Entwicklung pharmazeutischer Produkte oder die Züchtung von Kulturpflanzen. Optionswerte drücken die Zahlungsbereitschaft der Individuen aus, die daraus resultiert, daß gegenwärtige und/oder künftige Generationen in der Zukunft möglicherweise Nutzen aus der biologische Vielfalt ziehen. Existenzwerte beruhen darauf, daß für Individuen das Wissen um die Existenz unversehrter Ökosysteme oder Arten Befriedigung darstellen oder erzeugen kann. Dieser Wert besteht also völlig unabhängig von jeglichem direkten oder indirekten Gebrauch (Randall, 1988). Die Erfassung dieses Gesamtwerkes umfaßt also auch die erwähnten kulturellen und ästhetischen Werte.

Bei dieser Vorgehensweise ergeben sich jedoch - abgesehen von den für jede Nutzen-Kosten-Analyse bekannten Schwierigkeiten - einige grundlegende Probleme, die spezifisch sind für eine Bewertung der biologischen Vielfalt.

Es ist zunächst zu klären, welcher Grad der Aggregation der Bewertung zugrundezulegen ist. Einerseits wäre es wünschenswert, der Politik eine Prioritätenliste vorzulegen, die den Beitrag jeder einzelnen Art zu der abstrakten Größe "Artenvielfalt" angibt. Das geringe Wissen um die komplexen biologischen und ökologischen Zusammenhänge stellt aber ein zur Zeit erhebliches Hindernis für eine solche Vorgehensweise dar. Ökologen gelingt es selbst in eher überschaubaren Ökosystemen nicht, alle Zusammenhänge zu benennen (Norton, 1987, 1988). Andererseits dient eine Bewertung der biologische Vielfalt insgesamt nicht unbedingt der Entscheidungsfindung; ihr Wert ist unendlich, da die Vernichtung allen nichtmenschlichen Lebens auch das Auslöschen des menschlichen Lebens bedingen würde. Zu beantworten ist vielmehr die Frage, welcher Wertverlust sich ergibt, wenn hier ein kleiner und dort ein größerer Teil der biologischen Vielfalt verlorengeht (Randall, 1988).

Die Bewertung müßte eine möglichst vollständige Erfassung der gegenwärtigen und zukünftigen Nutzen von Arten vornehmen. Es ist schon schwierig abzuschätzen, welchen Nutzen die bereits bekannten Arten stiften können, und das Ungewißheitspotential wird durch die große Zahl unbekannter Arten weiter erhöht. Hinzu kommt, daß die Präferenzen der zukünftigen Generationen unbekannt sind. Steigt beispielsweise die Vorliebe für den Genuß unberührter Natur, was mit steigendem Einkommen zu vermuten ist, so sind die mit den heutigen Zerstörungen verbundenen Wohlfahrtsverluste weit höher, als gegenwärtig angenommen wird (Hampicke, 1992). Neben der Ungewißheit des zukünftigen Nutzens wird die Bewertung durch die Irreversibilität der Ausrottung von Arten erschwert. Heute getroffene Entscheidungen können nicht mehr revidiert werden; die Entscheidung, auf einen potentiellen zukünftigen Nutzen von Arten zu verzichten, ist sozusagen endgültig und trifft damit nicht nur die gegenwärtige, sondern auch alle zukünftigen Generationen (Arrow, Fischer, 1974; Bishop, 1978).

Dem Problem, die Ungewißheit abzubauen und Irreversibilitäten zu vermeiden, versucht man in der Bewertung dadurch Rechnung zu tragen, daß auch die Optionswerte erfaßt werden. Ungewißheit und Irreversibilität legen nahe, für die Erhaltung des Gutes "biologische Vielfalt" auch dann etwas zu zahlen, wenn es zwar gegenwärtig nicht genutzt wird, aber die Option, im Bedarfsfall auf das Gut zurückgreifen zu können, offen gehalten wird. Wenn auch unstrittig ist, daß ein Optionswert aus Gründen der Vorsicht berücksichtigt werden muß, so ist doch unklar, welcher Wert für diesen potentiellen Nutzen anzusetzen ist (Hampicke, 1991).

Wichtige Nutzungen der biologische Vielfalt haben, wie erwähnt, den Charakter eines globalen öffentlichen Gutes, weshalb eine marktliche Preisbildung nicht erfolgt. Die Bewertungsmethoden für Güter, die keiner marktlichen Preisbildung unterliegen, lassen sich in zwei Gruppen unterteilen: Die sogenannten "indirekten Methoden zur Präferenzerfassung" beruhen darauf, daß das Gut "Natur" oftmals nur gemeinsam mit komplementären Privatgütern (für die Marktpreise vorliegen) genutzt werden kann. Der "Reisekostenansatz" beruht beispielsweise auf dem Privatgut "Transport": Von den je nach Entfernung zu einem Biotop unterschiedlich hohen Kosten der Anreise wird auf eine Nachfragefunktion nach diesem Gut geschlossen. Mit der "direkten Methode" wird dagegen unmittelbar danach gefragt, wieviel ein Individuum für eine konkrete Schutzmaßnahme zu zahlen bereit ist, bzw. wie hoch die Kompensation im Falle der Vernichtung einer Art oder eines Ökosystems ausfallen muß. Der Vorteil der direkten Bewertungsmethoden liegt insbesondere in ihrer breiten Anwendbarkeit. Entsprechend haben die bisher durchgeführten Untersuchungen die Ermittlung der Zahlungsbereitschaften für den Erhalt einzelner Arten (z.B. Grizzly-Bär), ganzer Ökosysteme und sogar für den Stop der Ausrottung jeglicher Arten zum Gegenstand gehabt. Grundsätzlich können mit dieser Methode auch Optionswerte erfaßt werden (Hampicke, 1991).

Die Zahlungsbereitschaft hängt allerdings ganz entscheidend vom Informationsstand ab. Fehlinformationen und jede Form der Ungewißheit über den gegenwärtigen und zukünftigen Nutzen spiegeln sich unmittelbar in der Zahlungsbereitschaft wider. Es ist außerdem zu erwarten, daß diese in den Industrieländern und den Entwicklungsländern auseinanderklafft. In den Industrieländern kann sie dann lediglich als Bereitschaft zur Finanzierung von Maßnahmen zum Artenvielfaltschutz in den Entwicklungsländern angesehen werden, nicht aber als Indikator für eine durchschnittliche weltweite Wertschätzung. Hier ist methodisch wie inhaltlich noch vieles offen.

Bei der Erfassung der gegenwärtigen Nutzen der Artenvielfalt ergeben sich weitere Probleme: Viele biologische Ressourcen werden konsumiert, ohne auf dem Markt gehandelt zu werden. Dies gilt z.B. für Nahrung, Brennholz und Medikamente, die von der ansässigen Bevölkerung direkt den Biotopen entnommen werden. In welchem Umfang werden sie konsumiert, und welcher Wert soll für diese Güter angesetzt werden? Auch wenn die Erfassung dieser Nutzen Probleme bereitet, so dürfen sie doch bei einer vollständigen Bewertung des Artenvielfaltschutzes nicht außer acht bleiben (Swanson, 1992).

Trotz oder gerade wegen der genannten Bewertungsprobleme gehört die Forderung nach einer möglichst vollständigen Erfassung und Berücksichtigung der kurz- und langfristigen, monetären und nicht-monetären Nutzen der biologischen Vielfalt zu den wichtigsten Elementen einer wirksamen Artenvielfaltschutzpolitik.

Den Nutzen einer Art im Einzelfall zu messen, ist also mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden. Ein anderes Verfahren zur politischen Entscheidungsfindung definiert deshalb den sicheren Mindeststandard (*Safe-Minimum-Standard*) als das Maß des Artenvielfaltschutzes. Ausgangspunkt dieses Ansatzes ist die Überlegung, daß die Gesellschaft jene Strategie wählen sollte, die den möglichen Wohlfahrtsverlust minimiert. Da der zukünftige Nutzen des Artenvielfalterhalts sehr hoch sein kann, die Entscheidung für die Ausrottung einer Art aber irreversibel ist, ist folgende Entscheidungsregel formuliert worden: Ein Mindestschutz ist zu gewährleisten, sofern die gegenwärtigen sozialen Kosten des Erhalts, d.h. der Nutzenentgang für die Gesellschaft aus dem Verzicht auf die Ausbeutung der Ressource, nicht unakzeptabel hoch sind (Ciriacy-Wantrup, 1968; Bishop, 1978; Randall, 1988). Anders ausgedrückt: Wieviel geht in anderen für den Menschen wichtigen Bereichen verloren, wenn ein sicherer Mindeststandard der biologischen Vielfalt aufrechterhalten wird? Da davon auszugehen ist, daß jede Art einen positiven Wert hat, werden die Probleme einer systematischen Erfassung der Nutzen vermieden und wird zugleich die Beweispflicht denjenigen angelastet, die die natürliche Ressource ausbeuten wollen bzw. die artenvernichtende Nutzungsalternative präferieren.

Damit stellt sich - wie auch im Rahmen der Nutzen-Kosten-Analyse - die Frage nach den Kosten des Artenvielfaltschutzes. Sie entsprechen generell gesehen dem entgangenen Nutzen aus einer artenvernichtenden Aktivität, also beispielsweise dem Wert der Erzeugnisse einer intensiven landwirtschaftlichen Bearbeitung. Da es sich dabei häufig um private Güter, wie Getreide, handelt, Marktpreise also vorliegen, erscheint eine Evaluierung der Kosten des Artenvielfaltschutzes unproblematisch. Wie bereits angesprochen, wird die land- und forstwirtschaftliche Produktion jedoch durch künstlich hochgehaltene Preise (z.B. EG-Agrarmarktpolitik) subventioniert, folglich spiegeln die Preise nicht die tatsächliche Knappheit dieser Güter wieder: Die Produkte müßten billiger sein. Daraus folgt, daß land- und forstwirtschaftliche Flächen künstlich verteuert werden und somit auch die Kosten des Artenvielfaltschutzes höher erscheinen, als sie tatsächlich sind. Im konkreten Fall kann die artenvielfaltvernichtende Aktivität aus ökonomischer Sicht wegen ihrer offenkundigen Unrentabilität überhaupt nicht zu rechtfertigen sein, etwa wenn ein Staudamm oder Kanal seine Bau- und Betriebskosten nie zurückgewinnen kann.

Aus diesen Überlegungen zur Bewertung der biologischen Vielfalt lassen sich folgende Schlußfolgerungen ziehen (s. auch Hampicke, 1992):

Nicht nur theoretische Überlegungen, sondern auch empirische Untersuchungen legen den Schluß nahe, daß die Nutzen des Artenvielfaltschutzes bisher unterschätzt und gleichzeitig die Kosten überschätzt wurden. Mit Hilfe korrekter, d.h. nicht nur die leicht quantifizierbaren kurzfristigen Nutzen und Kosten des Artenvielfaltschutzes erfassenden ökonomischen Bewertungen läßt sich nachweisen, daß der Artenvielfaltschutz oftmals die effizientere, d.h. ökonomisch sinnvollere Verwendungsalternative darstellt und damit gesamtwirtschaftlich zu Wohlfahrtsgewinnen führen kann.

Die Vorgehensweise nach der "Nutzen-Kosten-Analyse" und dem "Safe-Minimum-Standard" sind nicht als konkurrierende, sondern als sich ergänzende Konzepte zu verstehen. Der Erhalt der Artenvielfalt geschieht vor dem Hintergrund der Ungewißheit zukünftiger Nutzen und der Irreversibilität der Ausrottung im Dienste der intergenerativen Gerechtigkeit. Zukunftsvorsorge ist aber nicht anders denkbar, als daß ein bestimmter Mindeststandard geschützt bleibt. Diese Grenze stellt eine kollektive Sicherungsschranke dar, die auch entgegen einzelwirtschaftlichen Vorteilen nicht überschritten werden darf.

Handlungsbedarf

Da die Vielfalt der Arten nicht über alle Regionen der Welt gleich verteilt ist, kann es mit Blick auf das Schadensausmaß - im Gegensatz etwa zur Atmosphäre - nicht gleichgültig sein, wo dieses Schutzgut gefährdet wird. Folglich muß sich das Maßnahmenpaket der internationalen Staatengemeinschaft auf jene Regionen richten, in denen die Vielfalt besonders ausgeprägt und zugleich bedroht ist. Durch eine derartige Prioritätensetzung wird gewährleistet, daß die Ausgaben für den Artenvielfaltschutz hohe Nettoerträge (Grenzerträge) erbringen. Einigkeit besteht auch weitgehend darüber, daß die Entwicklungsländer hohe Priorität genießen sollten, weil die tropischen Ökosysteme, insbesondere der Regenwald, zu den artenreichsten gehören. Wenn allerdings Politiker der Industrieländer vor diesem Hintergrund die Entwicklungsländer dazu drängen, den Artenvielfaltschutz zu forcieren, dann ist dies inkonsistent: Es ist ein Aufruf, nicht die Umweltfehler der Industrieländer zu wiederholen, welche aber möglicherweise Resultat ihrer Entwicklungserfolge sind. Solche Appelle werden von den unterentwickelten Ländern als Öko-Imperialismus verworfen werden, falls ihre Glaubwürdigkeit nicht durch finanzielle Unterstützungen erhöht wird. Wenn die Entwicklungsländer hier natürliche Ressourcen von globaler Bedeutung erhalten, müssen die Industrieländer auch bereit sein, dafür zu zahlen. Dies gilt um so mehr, als es sich bei mehreren der Länder mit der reichhaltigsten biologische Vielfalt zugleich um die ärmsten Länder der Welt handelt (Weltentwicklungsbericht, 1992).

Die bisherigen internationalen Übereinkommen zum Artenvielfaltschutz erfassen - einander ergänzend - einzelne Bereiche des Artenvielfaltschutzes und legen jeweils das Instrumentarium zur Zielerreichung fest. Zu nennen sind z.B. das "Washingtoner Abkommen über den internationalen Handel mit gefährdeten Arten freilebender Tiere und Pflanzen" (1973) und die "Bonner Konvention zur

Erhaltung der wandernden wildlebenden Tierarten" (1979). Die im Rahmen der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung (UNCED) 1992 unterzeichnete Artenvielfalt-Konvention (Übereinkommen über die biologische Vielfalt) ist die derzeit wichtigste Basis für diesen Bereich. Diese Konvention kann vor dem Hintergrund bestehender Abkommen als "Dach-Konvention" auch über viele Artenvielfaltschutz-Vereinbarungen angesehen werden. Wenn Artenvielfaltschutz weitgehend nur über den Biotopschutz wirksam erfolgen kann, könnte manche bisher - mangels Finanzierungsregelung - kaum genutzte internationale Vereinbarung vielleicht mit neuem Leben erfüllt werden, nicht zuletzt deshalb, weil in dieser Konvention konkrete Finanzierungsregeln vorgesehen sind.

Artikel 8 der Artenvielfalt-Konvention fordert den Schutz der natürlichen Lebensräume ("In-situ-Schutz"), also z.B. die Ausweisung von Schutzgebieten. Eine traditionelle Schutzmaßnahme der Industrieländer, die später auch von den Entwicklungsländern angewendet wurde, ist die Einrichtung von *Naturparks* und *Reservaten*, aus denen menschliche Aktivitäten mehr oder weniger verbannt werden. Diese Gebiete wurden typischerweise eingerichtet, um "populäre" Arten wie Elefanten, Tiger oder Bären oder auch "spektakuläre" geologische Formationen und Erholungsgebiete zu schützen. Bis in die jüngste Zeit wurden allerdings wenige dieser Gebiete explizit zum Schutz der biologischen Vielfalt eingerichtet. Naturschutzgebiete können in ihrer bisherigen Gestaltung lediglich einen Minimalschutz leisten: die fortlaufende Ausrottung von Arten konnte mit dieser Maßnahme jedenfalls nicht verhindert werden. Eine Reihe von Problemen steht bisher einem größeren Beitrag dieses Instruments zum Artenvielfaltschutz im Wege.

So folgt die Abgrenzung der Schutzgebiete in der Regel eher politischen als ökologischen Leitlinien. Hinzu kommt, daß viele Parks zu klein sind, um intakte Biotope oder einzelne Arten effektiv schützen zu können; so müssen beispielsweise Tiere zur Futtersuche auf nicht geschützte Gebiete ausweichen oder menschliche Aktivitäten außerhalb der Reservate wirken in die Gebiete hinein, so daß die tatsächlich unberührte Fläche weiter verkleinert wird. Häufig kommt es auch zum Konflikt zwischen lokalen und nationalen Interessen, wenn der Nutzen der Schutzmaßnahmen der Regierung oder bestimmten Unternehmen zufällt, während die ansässige Bevölkerung die Kosten in Form der eingeschränkten Nutzung zu tragen hat. Schließlich leiden viele Naturparks unter einem ineffektiven Management und einer unzureichenden finanziellen Ausstattung (World Resources, 1992).

Biosphären-Reservate sind ein Beispiel für die neue Generation der Konservierungstechniken. Sie basieren auf konzentrischen Arealen für unterschiedliche Nutzungen: Theoretisch erhält die "Kernzone" einen Totalschutz, aus dem menschliche Aktivitäten vollständig verbannt sind. Die "Kernzone" wird umschlossen von einer "Pufferzone", in der gewisse Ansiedlungen und auch

Ressourcennutzungen zugelassen sind. An diese schließt sich wiederum eine sogenannte "Transition Area" (eine Übergangszone) an, in der nachhaltige Entwicklungsaktivitäten zugelassen werden.

Seit im Jahre 1976 vom "Man and the Biosphere Programme" (MAB) der UNESCO die ersten Biosphären-Reservate eingerichtet wurden, ist ihre Zahl in der Welt auf gegenwärtig etwa 300 angestiegen. In der Praxis entstanden diese Reservate jedoch häufig durch die Umbenennung bisheriger Nationalparks oder Naturschutzgebiete, ohne daß deren Fläche und Funktionen oder die Vorschriften zur Nutzung wirklich verändert wurden. Auch wurde selten ein geeignetes Management eingerichtet, das in der Lage ist, das Zonensystem funktionsfähig zu machen, und das die Autorität hat, entsprechende Vorschriften durchzusetzen (World Resources Institute, 1992). Eine wichtige Rolle für die Überlebensfähigkeit von Arten spielt die Fähigkeit der Migration, also des Ausweichens vor regional drastischen Umweltveränderungen. Bei der Planung von Reservaten sollte deshalb auch die Schaffung von sogenannten "Korridoren" berücksichtigt werden, die das Überleben ganzer Lebensgemeinschaften durch Unterstützung der Migration fördern.

Im Prinzip vereinbaren Biosphären-Reservate den Gedanken des Arten- und Naturschutzes mit dem der nachhaltigen Entwicklung. Ihre Zahl sollte deshalb weiter erhöht und die Förderung ausgebaut werden. Schutzmaßnahmen in Form von Reservaten bleiben allerdings langfristig ineffektiv, wenn nicht Maßnahmen ergriffen werden, die den Druck auf Naturschutzgebiete und natürliche Lebensräume insgesamt verringern. Dazu zählen z.B. Maßnahmen, die die landwirtschaftliche Produktivität steigern und damit die Notwendigkeit der Flächenexpansion reduzieren und die nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder und die Entwicklung des Ökotourismus fördern. Diese Maßnahmen versprechen "doppelten Gewinn", da sie sowohl dem Artenvielfaltschutz dienen als auch die wirtschaftliche Entwicklung fördern. Dadurch werden ihre Umsetzungschancen deutlich erhöht (Weltentwicklungsbericht, 1992).

Artikel 9 der Artenvielfalt-Konvention sieht als ergänzende Maßnahme des Artenschutzes die sogenannte *Ex-situ-Konservierung* von Pflanzen- und Tierarten vor, d.h. ihre Erhaltung außerhalb ihrer natürlichen Biotope in Aquarien, zoologischen und botanischen Gärten oder Genbanken. Eine Vielzahl dieser Institutionen nimmt seit den 70er Jahren systematische Sammlungen seltener und gefährdeter Arten vor, die nach Sicherung oder Wiederherstellung ihrer Biotope in die Natur rückgeführt werden können.

Die Ex-situ-Konservierung bietet oft die letzte Möglichkeit, einige wenige, höchst gefährdete Arten vor dem endgültigen Aussterben zu bewahren. Aus verschiedenen Gründen darf sie jedoch keinesfalls als Ersatz für den In-situ-Schutz, d.h. den Schutz von Tieren und Pflanzen in ihrem natürlichen Lebensraum angesehen werden. Ein Problem stellt der Zeitdruck dar. Die

bestehenden finanziellen, personellen und logistischen Kapazitäten erlauben es nicht, die große Zahl an Arten zu retten, die aktuell gefährdet ist. Dieses Hindernis könnte immerhin noch durch einen großzügigen Ausbau der Kapazitäten verringert werden. Die bedeutsamste Begrenzung findet diese Strategie aber zwangsläufig in dem Stillstand des evolutionären Prozesses. Natürliche Selektion und Anpassung in einer sich verändernden Umwelt sind nicht simulierbar, die komplexen koevolutionären und mutativen Zusammenhänge können in einer künstlichen Umwelt - soweit sie überhaupt bekannt sind - nicht erhalten werden, die Populationen sind zu klein. Somit steigt mit zunehmender Dauer der Ex-situ-Konservierung die Gefahr, daß eine Rückführung der Arten in ihre natürlichen Lebensräume unmöglich wird, und die Arten in ihrer zukünftigen Existenz weiterhin der menschlichen Unterstützung bedürfen. Die Rückführung von Arten ist aber gerade das Ziel jedes Ex-situ-Projekts. Der Schutz und die Wiederherstellung der natürlichen Lebensräume müssen deshalb Priorität genießen (Institute for Environmental Research, 1991).

Nach Artikel 10 soll die Nutzung der biologische Vielfalt nachhaltig und umweltverträglich sein und in sämtliche innerstaatliche Entscheidungsprozesse einbezogen werden. Vordringlich sind deshalb auf nationaler Ebene alle wirtschaftspolitischen Maßnahmen daraufhin zu überprüfen, ob sie den Verlust der biologische Vielfalt fördern. Hierzu zählen agrarpolitische Maßnahmen, die die massive Verwendung von Pestiziden, Herbiziden und Düngemitteln sowie das Anpflanzen von Monokulturen fördern, vor allem aber auch Subventionen für die Umwandlung von natürlichen Biotopen in landwirtschaftliche Fläche und für die Abholzung von Wäldern. Solange derartige Anreize das Verhalten der Individuen lenken, bleibt die Effizienz globaler Maßnahmen, einschließlich möglicher Kompensationszahlungen an die Entwicklungsländer, erheblich eingeschränkt; knappe Mittel werden zum Teil verschwendet.

Dies macht deutlich, daß in den einzelnen Ländern die nationalen Politikbereiche besser aufeinander abgestimmt werden müssen. Artenvielfaltschutz muß in die nationale Politik integriert werden. Land- und Forstwirtschaftspolitik oder auch die Raumplanung und Entwicklungshilfepolitik dürfen nicht isoliert betrieben werden, da sie dann der Artenvielfaltschutzpolitik möglicherweise entgegenwirken.

Artikel 16 der Konvention sieht einen Technologietransfer in die Entwicklungsländer vor, der diesen eine eigenständige Veredelung ihrer Ressourcen ermöglichen soll. Um die Forschung in den Industrieländern nicht zu beeinträchtigen, ist der Grundsatz in der Konvention verankert worden, daß das geistige Eigentum weiterhin geschützt bleibt. Zugleich soll den Entwicklungsländern der Zugang zur Biotechnologie erleichtert werden (Art.19). Die Unternehmen sollen für diesen zwischenstaatlich vereinbarten Technologietransfer von der öffentlichen Hand Kompensationen erhalten. Offen ist jedoch, woran sich die Höhe der Kompensationen orientieren soll. Die Unternehmen werden versucht

sein, den Wert der gehaltenen Patente zu übertreiben; die Kompensationen fallen dann zu hoch aus. Liegen die Kompensationen dagegen unter dem Wert der Patente, so werden die Anreize für Innovationen beeinträchtigt. Es bleibt fraglich, ob der staatlich regulierte Technologietransfer dem Artenvielfaltschutz nachhaltig dienen kann und gleichzeitig negative Auswirkungen auf das Innovationsverhalten vermieden werden können (Heister et al., 1992).

Artikel 15 setzt bei dem Tatbestand an, daß die Entwicklungsländer bisher selten finanziell von ihrer "biologische Vielfalt" als Genpool profitierten, obwohl diese, durch Technologien in den entwickelten Ländern veredelt, beträchtliche Gewinne abwerfen können. Gefordert wird, daß die Ergebnisse der Forschung und Entwicklung und die Vorteile, die sich aus der kommerziellen Nutzung der Ressourcen ergeben, gerecht und ausgewogen geteilt werden. Um den kostenlosen Zugang für ausländische Unternehmen zu der nationalen Ressource zu vermeiden, hat beispielsweise Costa Rica im Jahr 1989 eine Organisation (Instituto Nacional de Biodiversidad, INBIO) gegründet, die Informationen über die einheimische Tier- und Pflanzenwelt sammelt: Name, Standort und potentielle wirtschaftliche Nutzungsmöglichkeiten werden erfaßt. Gegen eine Gebühr wird kommerziellen Nutzern Einblick in die Daten gewährt. Erster bedeutender Kunde war einer der weltweit größten Hersteller pharmazeutischer Produkte, der die Zahlung von einer Million Dollar und prozentuale Anteile an den Umsätzen aller Produkte, die auf Basis der Arten Costa Ricas entwickelt werden, zusagte (World Resources Institute, 1992).

Trotz dieser Versuche, die Eigentumsrechte der Entwicklungsländer zu stärken, verbleibt das Kernproblem auf internationaler Ebene, daß die genetische Basis bisher weitestgehend ein öffentliches Gut ist, von dessen Nutzung also niemand ausgeschlossen werden kann. Völkerrechtlich bleibt zu klären, wie die Gewinne aus der Nutzung von Arten auf die physischen Eigentumsrechte der Entwicklungsländer und die geistigen Eigentumsrechte aus den Veredelungsprozessen in den Industrieländern zu verteilen sind.

Die Gewinne aus der Nutzung der Ressource fallen also in den Industrieländern an, die Entwicklungsländer setzen die Biotope für Zwecke ein, die den Artenvielfaltschutz ausschließen. Soll dieser Konflikt gelöst werden, müssen die Entwicklungsländer für ihre Artenvielfaltschutzleistungen entlohnt werden (Heister et al., 1992). Die Artenvielfalt-Konvention verpflichtet daher die Industrieländer nach Artikel 20, neue Finanzmittel in Höhe der zusätzlichen Kosten ("incremental costs") zur Verfügung zu stellen, um die Entwicklungsländer bei der Umsetzung der Verpflichtungen aus der Konvention zu unterstützen. Wenn auch das Konzept der "incremental costs" noch nicht ausgereift ist, so wird es doch grob durch die folgende Berechnung bestimmt: Die zusätzlichen Kosten der Artenschutzpolitik eines Landes ergeben sich durch die Subtraktion der nationalen Nutzen des Artenvielfaltschutzes von den Kosten

der Artenvielfaltschutzpolitik (direkte Kosten + Opportunitätskosten). Die Differenz deutet an, welcher finanzielle Transfer von der internationalen Staatengemeinschaft zu leisten ist.

Die Frage, wie hoch die zusätzlichen Kosten eines Artenvielfaltschutzprojektes sind, ist dann kaum zu beantworten, wenn die nationale Wirtschaftspolitik die Artenvernichtung subventioniert. Die zusätzlichen Kosten des Artenvielfaltschutzes können sogar negativ sein, wenn durch die Beseitigung von Preisverzerrungen gesamtwirtschaftliche Effizienzgewinne entstehen. Andererseits fallen die Kosten aber sehr hoch aus, wenn bei Beibehaltung der Preisverzerrungen Schutzmaßnahmen finanziert werden müssen. Solange also nationale wirtschaftspolitische Maßnahmen zu den Ursachen der Artenvernichtung zählen, bleiben die zusätzlichen Kosten von Artenvielfaltschutzprojekten schwer kalkulierbar (Heister et al., 1992). Wenn die Entwicklungsländer jedoch von dem wahren Wert ihrer natürlichen Ressourcen profitieren können, d.h. sie auch für die Nutzen des Artenvielfaltschutzes entlohnt werden, dann verringern sich die Unterschiede zwischen den nationalen und internationalen Anliegen. Die in den Industrieländern bestehenden Präferenzen für ein höheres Schutzniveau sind von den politischen Entscheidungsträgern also in einen Zufluß finanzieller Mittel in die Entwicklungsländer zu transformieren. Zu betonen ist, daß diese Zahlungen als Entgelte für Leistungen verstanden werden müssen, die die Vielfalt der Arten der gesamten Staatengemeinschaft liefert, und nicht als humanitäre oder sonstige Entwicklungshilfe. Dies impliziert dann einen Transfer zusätzlicher Mittel und nicht etwa die Umstrukturierung bestehender Zahlungen (Weltentwicklungsbericht, 1992).

Als Finanzierungsinstrument dient nach Artikel 21 und 39 bis zur ersten Vertragsstaatenkonferenz die Global Environmental Facility (GEF). Diese ist im Rahmen der UNCED-Konferenz in Rio de Janeiro von 1,4 Mrd. US-$ auf 7 bis 8 Mrd. US-$ aufgestockt worden. Sie ist bisher auf vier Bereiche konzentriert: den Schutz der Ozonschicht, die Begrenzung der Emission von Treibhausgasen, den Schutz der Artenvielfalt und den Schutz der internationalen Gewässer. Dabei wird geschätzt, daß allein der wirksame Schutz bereits in den Entwicklungsländern ausgewiesener Schutzgebiete und die für notwendig gehaltene Ausweitung der Schutzgebiete um 50 % im Laufe dieses Jahrzehnts 2,5 Mrd US-$ pro Jahr kosten wird (Weltentwicklungsbericht, 1992). Der Umfang der Mittel, der von der GEF für den Schutz der biologische Vielfalt aufgewendet werden kann, dürfte also bei weitem nicht ausreichend sein.

Die GEF soll die Finanzierung von Projekten fördern, die positiven Einfluß auf die globale Umweltsituation haben. Im Hinblick auf den Schutz der biologischen Vielfalt wären daher eindeutige Kriterien für entsprechende förderungswürdige Projekte zu entwickeln. Bei der Mittelvergabe muß die zuständige Institution dann über gesicherte Informationen im Hinblick auf das beantragte

Projekt verfügen. Nach der Mittelvergabe muß die zweckentsprechende Verwendung kontrolliert werden. Zu klären ist schließlich, wie Sanktionsmechanismen im Falle einer zweckentfremdenden Mittelverwendung ausgestaltet werden können. Die in den meisten Entwicklungsländern als sensibel erachtete Frage der staatlichen Souveränität kann jedoch die Informationsgewinnung, die Kontrolle und die Sanktionsmöglichkeiten der über die Mittelvergabe entscheidenden Institution erheblich beeinträchtigen. Bei der Durchführung des Finanzierungsmechanismus sind deshalb Kontroversen zwischen den Nehmer- und Geberländern zu erwarten: Die einen fürchten um ihre Eigenständigkeit, die anderen um eine Zweckentfremdung der bereitgestellten Mittel.

Als zusätzliche Finanzierungsquelle für den Artenvielfaltschutz sind Mitte der 80er Jahre die "Debt-for-Nature Swaps" entwickelt worden, also der Tausch von Schulden gegen Naturschutzleistungen. In seinem bisherigen Umfang kann dieses Instrument nur einen kleinen Anteil zur Reduzierung der Schuldenbelastung der Entwicklungsländer beitragen und deshalb keinen nennenswerten Beitrag zum Artenvielfaltschutz liefern.

Zusammenfassend ist zu betonen, daß für einen effektiven Artenvielfaltschutz nicht nur ein Instrument existiert. Es ist vielmehr eine umfassende Strategie zu konzipieren, die sowohl auf lokaler als auch auf nationaler und globaler Ebene ansetzt und deren Teilinstrumente dann mit anderen Politikbereichen abzustimmen sind. Bei allen von den Industrieländern initiierten Maßnahmen ist dabei darauf zu achten, daß die Entwicklungsländer auf Souveränitätseinschränkungen in aller Regel sehr sensibel reagieren.

Die Irreversibilität der Schäden und das weiterhin ungebremste Tempo der Artenvernichtung macht jedoch umgehend Schutzmaßnahmen erforderlich. Dabei muß, insbesondere weil die weltweite Umsetzung der Artenvielfalt-Konvention noch einiger Zeit bedarf, auf eine Vielzahl kleiner Instrumente zurückgegriffen werden, auch wenn deren Beitrag zum Artenschutz, isoliert betrachtet, nur gering erscheint. Dies gilt bisher z.B. für "Debt-for-Nature Swaps" oder die Bindung der deutschen Entwicklungshilfe an den Artenvielfaltschutz.

Historische Entwicklung politischen Handelns

national	*international*
1) Charta, Konvention	Verschiedene Abkommen schon vor Rio Artenvielfalt-Konvention AGENDA 21
2) Protokoll	noch nicht vorliegend

3) Gesetzestexte	Naturschutzgesetz	Entwurf der Bundesregierung liegt vor
4) Instrumente		z.B. Technologietransfer, Kompensationslösung, globaler Fonds
5) Finanzieller Rahmen		wird im Protokoll präzisiert
6) Durchsetzung		noch offen

Rio-Folgefragen (AGENDA 21)

- Verstärkte Einbeziehung von Fragen der biologischen Vielfalt in sektorübergreifende Planungen und Programme; Untersuchungen ihrer Bedeutung für die nachhaltige Nutzung biologischer Ressourcen sowie deren Bewertung im ökonomischen und ökologischen Zusammenhang.
- Unterstützung der Entwicklungsländer bei der Erhaltung der biologischen Vielfalt, bei der Nutzung biotechnologischer Erkenntnisse und bei der Wahrnehmung ihrer Rechte als Ursprungsländer genetischer Ressourcen.
- Förderung von Langzeit-Forschungsprogrammen zur Bedeutung der biologische Vielfalt für die Funktion von Ökosystemen als Basis für die Produktion und Konsumtion, den Umweltschutz allgemein und den Schutz der Ökosysteme als Grundlage für die Erhaltung der biologische Vielfalt.
- Einbeziehung von Umweltverträglichkeitsprüfungen bei den möglichen Auswirkungen geplanter Projekte auf die biologische Vielfalt.
- Beteiligung an der weltweiten Zusammenarbeit und der regelmäßigen Berichterstattung über die biologische Vielfalt auf der Basis nationaler Erhebungen.

Kostenschätzung: 3,5 x 10^9 US-$/a (1993-2000)

Forschungsbedarf

Naturwissenschaftlicher Bereich

Auf die Bedeutung der Selbstorganisation von Ökosystemen als Grundlage für die Widerstandsfähigkeit gegenüber Streß wurde weiter oben hingewiesen. Diese Selbstorganisation beruht auf den Stoff- und Energieflüssen zwischen den zum System gehörenden Organismen (Arten) in Wechselwirkung mit ihrer Umwelt. Daraus leitet sich ein erheblicher Forschungsbedarf ab. Es gibt zwar eine Reihe von Forschungsresultaten zur Beziehung zwischen der Komplexität (Anzahl der Arten und Individuen) und der Widerstandsfähigkeit eines Ökosystems, die Schlußfolgerungen sind jedoch teilweise widersprüchlich. Daher gibt es für die Forschung noch eine Reihe offener Fragen:

- Beziehungen zwischen biologischer Vielfalt, Komplexität und Funktion von Ökosystemen,
- Rolle der biologischen Vielfalt für das Funktionieren der Kreisläufe im ökologischen System,
- spezifische Mischung der Arten, die für die lebensnotwendigen Funktionen des Systems erforderlich sind,

- Ermittlung der kritischen Größen verschiedener Ökosysteme, um Biodiversität und Leistungen der Ökosysteme aufrechtzuerhalten,
- Anpassungsfähigkeit einzelner Arten an Klimaveränderungen und deren Interaktionen,
- Wirkung klimatischer Extreme auf Vorhandensein und Verteilung der Arten,
- Ermittlung derjenigen Zustandsgrößen, die für die Beschreibung der Reaktion von Ökosystemen wichtig sind (integrative Größen über viele Arten oder "Zeigerarten", d.h. für ein Ökosystem typische Arten),
- Untersuchung der Rückkopplungseffekte zwischen Ökosystem und Umwelt,
- Prüfung der "Korridor"-Hypothese als wichtige Voraussetzung für das Überleben von Ökosystemen einschließlich Auswahl und Managementplänen für geeignete Refugien gefährdeter Ökosysteme,
- Erarbeitung bzw. Weiterentwicklung geeigneter Forschungsmethoden zur Lösung der offenen Probleme wie:
  - Langzeituntersuchungen zur Reaktion von Ökosystemen in verschiedenen Umwelten,
  - Aufbau eines geeigneten Beobachtungssystems zur Erfassung biotischer Änderungen auf der Erde,
- dynamische mathematische Modelle unterschiedlicher Komplexität und Strukturiertheit:
  - Modelle zur Verteilung von Ökosystemtypen auf der Erde bei unterschiedlichen Klimaszenarien;
  - Modelle zur Quantifizierung von Ökosystemfunktionen und dem Zusammenhang mit der biologischen Vielfalt,
  - Modelle, die die Interaktionen zwischen Ökosystemen und dem zu erwartenden Klima quantifizieren,
  - Modelle, die den Einfluß von multiplen Streßeinwirkungen auf die Artenvielfalt sowie Stoff- und Energiekreisläufe im System beschreiben.

Sozioökonomischer Bereich

- Untersuchungen über die Beziehung von Ökologie (hier: biologische Vielfalt) und Ökonomie in nachhaltig genutzten Ökosystemen,
- Erarbeitung von ökonomischen Bewertungskriterien, die alle Funktionen von Arten bzw. Ökosystemen berücksichtigen,
- Analyse der genaueren Ausgestaltung der Instrumente sowie Kompensationslösung und Technologietransfer,
- Einflüsse des GATT und internationaler Abkommen zum Handel mit Wildarten bzw. Gen-Ressourcen auf die biologische Vielfalt.

2 Wandel der Anthroposphäre - Einführung

Die im vorhergehenden Kapitel 1 analysierten Veränderungen der Natursphäre sind im wesentlichen durch menschliche Aktivitäten oder Unterlassungen verursacht: Anthropogene Umweltauswirkungen resultieren aus der *Produktion* und dem *Verbrauch* von Gütern und Dienstleistungen und lassen sich wie folgt charakterisieren:

- Verbrauch von nicht erneuerbaren Ressourcen wie Bodenschätze und fossile Brennstoffe. *Besondere Problembereiche:* Erfassung und Bewertung der langfristig nutzbaren Vorräte; sparsame Bewirtschaftung im Hinblick auf langfristige Nutzungsmöglichkeiten; Suche nach Substitutionsmöglichkeiten und effizienteren Verwendungen.
- Nutzung von erneuerbaren Ressourcen wie Land, Wasser, Luft etwa zur Nahrungsmittelproduktion oder als alternative Energiequellen. *Besondere Problembereiche:* Erhaltung und Ausbau der Reproduktionsbasis (z.B. Verhinderung von Bodendegradierung, Wasserverschmutzung); umweltverträgliche Steigerung der Ertrags- und Leistungsfähigkeit.
- Emissionen; *besondere Problembereiche:* Belastungen der Umweltmedien Atmosphäre, Wasser und Böden; negative Folgen für die Schutzgüter Mensch, Tier und Pflanze; möglicherweise Verringerung der Basis für erneuerbare Ressourcen; Aufgabe: Vermeidung bzw. Minderung von Emissionen und Emissionsfolgen.
- Abfall; *besondere Problembereiche:* Verwertung und Entsorgung führen ihrerseits zu weiteren eigenständigen Prozessen, die wiederum mit Ressourcenverbrauch, Emissionen und Abfall verbunden sind; Aufgabe: Vermeidung bzw. Reduzierung von Abfall; Wiederverwertung (Recycling) bietet aber auch die Chance, den Ressourcenverbrauch abzusenken.

Neben diesen Umweltauswirkungen ist die gegenwärtige Situation durch folgende globale Probleme gekennzeichnet:

- mehr als 1 Mrd. Menschen leben in absoluter Armut
- weitere 3 Mrd. Menschen sind nicht ausreichend mit Gütern und Dienstleistungen versorgt
- in vielen Regionen der Erde ist ein erhebliches Defizit an medizinischer Versorgung festzustellen.

Die Problembereiche "Umwelt" und "Entwicklung" stehen dabei in einem wechselseitigen Ursache-Wirkungs-Verhältnis. Einerseits führen Umweltprobleme (z.B. Reduzierung der Basis für erneuerbare Ressourcen; Emissionen und Abfall) zu einer Verstärkung von Armut, Seuchen und Krankheiten. Andererseits haben Hunger, Armut und mangelhafte Ausbildung (z.B. durch "Übernutzung" von landwirtschaftlichen Anbauflächen, Wasserverschmutzung, Rodung von Wäldern) Umweltbeeinträchtigungen zur Folge.

Der Beirat vertritt aus den dargelegten Gründen nachdrücklich die Auffassung (wie auch die internationale Staatengemeinschaft auf der Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro 1992), daß Umwelt und Entwicklung keine sich ausschließenden Alternativen sein dürfen, sondern im Zusammenhang und gleichzeitig zu lösende Aufgaben darstellen.

Quantität und Qualität der Umweltauswirkungen in globaler Sicht werden bestimmt durch

- die Mengen an Gütern und Dienstleistungen, die weltweit produziert, verteilt und verbraucht werden
  und
- die Art und Weise, wie Produktion, Verteilung und Verbrauch durchgeführt und organisiert werden (Technologie).

Dieser Zusammenhang läßt sich einprägsam anhand der folgenden bekannten Formel (z.B. DGVN, 1992a) verdeutlichen:

$$A_{\text{uswirkung}} = B_{\text{evölkerung}} \times V_{\text{erbrauch von Gütern und Diensten (real, durchschnittlich, weltweit)}} \times T_{\text{echnologieeffekt}}$$

Folgende Determinanten sind somit von entscheidender Bedeutung:

- die Bevölkerungsentwicklung
- die Veränderung des weltweiten Pro-Kopf-Verbrauchs (Konsum)
- die Veränderung des Technologieeffektes.

Für die Dringlichkeit der Bewältigung der anstehenden Fragen von Umwelt *und* Entwicklung ist festzustellen: Es existiert ein unausweichlicher, *akuter Handlungsbedarf* bzw. die Notwendigkeit, relativ kurzfristig Erfolge zu erzielen.

Eine Einschätzung der Handlungs- und Einwirkungsmöglichkeiten bei den entscheidenden Determinanten ergibt:
Die *Bevölkerungszahl* wird bis zur Mitte des nächsten Jahrhunderts erheblich wachsen; verstärkt wird diese Problematik durch umweltbedingte Wanderungen (Migrationen) und durch den Verstädterungsprozeß (Urbanisierung). Diese Feststellung gilt auch bei optimistischen Erwartungen über den Erfolg der Bemühungen zur Stabilisierung der Weltbevölkerung. Bei aller Notwendigkeit, diese Anstrengungen fortzusetzen und zu intensivieren, werden sich hier nur langfristig durchgreifende Wirkungen erzielen lassen (siehe 2.1). Handlungsmöglichkeiten, die kurzfristig Erfolge zeitigen, existieren nicht.

Der *globale Pro-Kopf-Verbrauch* muß wegen der geschilderten Probleme wie Hunger und Armut gesteigert werden. Dies gilt auch, wenn man einen teilweisen Konsumverzicht in den hochentwickelten Ländern und eine Umverteilung zugunsten der Entwicklungsländer in Betracht zieht. Die notwendige Produktionsausweitung führt somit *tendenziell* zu weiteren Umweltbelastungen, selbst wenn man die Möglichkeit berücksichtigt, die Güterstruktur mittels Substitution

umweltbelastender Produkte durch umweltverträgliche Güter zu verändern (siehe 2.2). Auch hier ist festzuhalten: Handlungsmöglichkeiten zur Reduzierung des weltweiten Pro-Kopf-Verbrauchs stehen nicht zur Verfügung. Somit bleibt die Hoffnung, durch Veränderung angewendeter und Einführung neuer *Technologien* ein strategisches Handlungspotential zur Verfügung zu haben, mit dessen Hilfe auch kurz- und mittelfristig Wirkungen zu erzielen sind (technologische Option).

Technologien sind in mehrfacher Hinsicht von Bedeutung für globale Umweltveränderungen:

- Die zur Anwendung kommenden Technologien können *Ursache* für globale Umweltveränderungen mit negativen Auswirkungen im oben beschriebenen Sinne sein. Sie waren dies in erheblichem Maße in der Vergangenheit und sind es auch in der Gegenwart - in viel stärkerem Maße jedenfalls als das Bevölkerungswachstum und die Zunahme des Pro-Kopf-Verbrauchs (Commoner, 1988). So sind die gegenwärtigen Umweltauswirkungen (z.B. Ozonloch, Treibhauseffekt) wesentlich verursacht durch Art und Weise von Produktion und Verbrauch in den Industrieländern.
- Änderung der angewendeten und Einführung neuer Technologien bedeuten ein *Handlungspotential* bzw. einen *strategischen Ansatzpunkt*, um
  - Produktion und Verbrauch in der *Zukunft* so durchzuführen, daß Umweltauswirkungen vermieden oder zumindest abgemildert werden;
  - einen wesentlichen Beitrag für eine nachhaltige Entwicklung zu leisten.
- Darüberhinaus stellt die Entwicklung und Anwendung neuer Technologien ein *Korrekturpotential* dar, das
  - negative Entwicklungen der Vergangenheit revidieren kann (z.B. Revitalisierung und Renaturierung von Böden und Flüssen);
  - eine Anpassung an oder Schutz vor irreversiblen Entwicklungen ermöglicht (z.B. sichere Endlagerung von Gift oder Atommüll).

Aus diesen Gründen und wegen der Chance, kurz- bis mittelfristig Erfolge erzielen zu können, unterstreicht der Beirat die Bedeutung von Erforschung, Erprobung, Transfer und Einsatz neuer Technologien.

Technologiebeispiele in drei Bereichen

Endliche Ressourcen

Im Bereich der "endlichen" Ressourcen zielen technologische Entwicklungen vorrangig darauf ab,

- die vorhandenen Ressourcen durch den Einsatz von Substituten zu schonen,
- die Effektivität bei der Nutzung der Ressourcen zu erhöhen und
- die bekannten Ressourcen in nutzbare Reserven umzuwandeln.

Für den Bereich der fossilen Brennstoffe steht mit der Solarenergie beispielsweise ein regenerativer Energieträger zur Verfügung, der dazu beitragen kann, auf umweltschonende Weise den Bestand an endlichen Energiereserven zu schonen bzw. deren zeitliche Verfügbarkeit zu erhöhen.
Neben der Substitution erweist sich die Erhöhung der Effektivität bekannter Verfahren zur Nutzung nicht nur fossiler Energieträger als bedeutender Forschungsbereich. Bei der Transformation von Primärenergie in tatsächlich nutzbare Energieformen geht bekanntlich ein hoher Anteil an nicht mehr nutzbarer Energie verloren. Das damit angesprochene, irreversible Entropiephänomen kann zwar nicht ganz ausgeschaltet werden; insbesondere in Großfeuerungsanlagen läßt sich jedoch über das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung eine höhere Ausnutzung der eingesetzten Primärenergie - durch die Nutzung der anfallenden Abwärme - verwirklichen.
Weiterhin ermöglichen mechanische, biologische und chemische Separationsverfahren den Zugriff auf Bodenschätze, deren Förderung lange Zeit als technisch unmöglich bzw. als unwirtschaftlich galt.

Erneuerbare Ressourcen

Am Beispiel des Umweltkompartiments "Boden" läßt sich eindrucksvoll dokumentieren, daß der Einsatz umweltschonender Technologien nicht immer mit einem hohen Kosten- bzw. Zeitaufwand verbunden sein muß. Um den massiven Erosionserscheinungen in den tropischen Ländern entgegenzuwirken, können agrarische Nutzflächen mit dem hochwachsenden und sehr widerstandsfähigen Vetiver-Gras umsäumt werden, um drohenden Abschwemmungen und Verwehungen zu begegnen.
Biotechnologische Innovationen tragen vielfach dazu bei, land- und forstwirtschaftliche Pflanzkulturen sowie deren Früchte gegen schädigende Umwelteinflüsse resistenter zu machen. Hirsepflanzungen sind beispielsweise sehr viel eher in der Lage, längere Trockenperioden zu überstehen und können mit Hilfe biotechnologischer Entwicklungen auch widerstandsfähiger gegen zunehmende Salzkonzentrationen im Wasser gemacht werden. Durch den Einsatz sogenannter "Gene-Shears-Techniken" ist es möglich, bestimmte, unerwünschte genetische Informationen aus pflanzlichen Erbinformationen herauszuschneiden, ohne andere Erbinformationen zu beeinträchtigen. Auf diese Weise kann die Reproduktion bzw. das Wachstum verschiedener Viren, Parasiten oder Krankheiten ohne negative Begleiterscheinungen verhindert werden.
Dies wirkt sich auch positiv auf die Qualität des Grundwassers aus, da der Einsatz chemischer Düngemittel und Pestizide reduziert werden kann.

Abfall

Auch wenn in jüngster Zeit - zumindest in den entwickelten Ländern - ein Trend zur sogenannten "Low-waste-" bzw. "No-waste-production" erkennbar ist, so kann dennoch nicht auf den Einsatz umweltschonender Verwertungs- und Entsorgungstechniken verzichtet werden.
Den Industrieländern steht nach enormen Forschungsanstrengungen heute eine Vielzahl von umweltgerechten Abfallverwertungs- und -entsorgungstechniken zur Verfügung, die im Rahmen integrierter Konzeptionen kombiniert eingesetzt werden können. Thermische, biologische, chemisch-physikalische Verfahren werden in zahlreichen Varianten erprobt bzw. schon angewandt.
In bezug auf den Transfer dieser technologischen Innovationen gilt es zu berücksichtigen, daß die fraktionelle Zusammensetzung des Abfalls in den Entwicklungsländern einen sehr viel höheren Organikanteil aufweist als in den Industrienationen. Demzufolge erfordern die Behandlung und Entsorgung von Abfallstoffen in diesen Ländern einen auf ihre Verhältnisse abgestimmten Verfahrenseinsatz.

Welche Rolle "neues Wissen - neue Technologien" bei der Bewältigung der anstehenden Probleme spielen können, wird bereits durch die Reaktion auf die "Club of Rome-Studie" von 1972 ersichtlich. In dieser Studie wurde insbesondere die Knappheit der Ressourcen herausgestellt und prognostiziert, wann jeweils die einzelnen Rohstoffe vollständig abgebaut sein würden.

Begünstigt durch hohe Rohstoffpreise, "Ölkrise" usw. führten privates Interesse (Kosteneinsparung/Erlössteigerung) und staatlich geförderte Forschung (langfristige Sicherung der Rohstoffbasis) zu "neuem Wissen", das eine teilweise "Entspannung" der Diskussion um Rohstofferschöpfung zur Folge hatte:

- Trotz Anstiegs der Nutzung von nicht erneuerbaren Ressourcen (Bodenschätze - fossile Brennstoffe) nahmen die nutzbaren Vorräte (d.h. die Kenntnisse über Rohstoffvorkommen sowie über technische und wirtschaftliche Abbaumöglichkeiten) zu (Crowson, 1988).
- Die Furcht vor politischer und wirtschaftlicher Abhängigkeit sowie wachsendes Umweltbewußtsein führten in den Industrieländern zu sinkenden Rohstoffinputs pro Produkteinheit, zur Erfindung technischer Substitute, zur Erhöhung des Ausnutzungsgrades pro Rohstoffeinheit sowie zur Entwicklung von Recycling-Verfahren.

Die beschriebene "Entspannung" bedeutet selbstverständlich nicht, daß das Problem nicht erneuerbarer Ressourcen vernachlässigt werden kann. Sie besagt lediglich, daß die übrigen Bereiche, für die der Einsatz neuer Technologien unerläßlich ist, im Augenblick als besonders dringlich anzusehen sind:

- Sicherung und Erhaltung der Basis für erneuerbare Ressourcen (z.B. Wasser, Böden, Solarenergie)
- Vermeidung bzw. Minderung von Emissionen und Emissionsfolgen (z.B. CO_2)
- Vermeidung, Reduzierung bzw. Verwertung von Abfall.

In verschiedenen Kapiteln zur Natursphäre wurde bereits und in einigen Kapiteln zur Anthroposphäre wird anhand von Beispielen auf Möglichkeiten des Einsatzes neuer Technologien aufmerksam gemacht.

Um der zentralen Bedeutung der Änderung angewendeter und der Einführung neuer Technologien Rechnung zu tragen, wird sich der Beirat in einem künftigen Gutachten mit den Notwendigkeiten, Möglichkeiten und Voraussetzungen zur Erforschung, Erprobung, (nationalem und internationalem) Transfer und Umsetzung neuer umweltverträglicher Technologien auseinandersetzen.

Beispielhaft sei auf die Möglichkeiten zum Aufbau eines umfassenden Informations- und Kommunikationssystems durch den Aufbau sogenannter Clearing-Stellen hingewiesen (AGENDA 21, Kap. 34).

Damit sind folgende Vorteile verbunden:

- In den Clearing-Stellen werden Informationen über verfügbare Technologien, deren Ressourcen, deren Umweltbelastungspotential und über die für die Verwendung derartiger Technologien notwendigen Rahmenbedingungen und Akquisitionsmöglichkeiten gesammelt, aufbereitet und weitergegeben.
- Dies betrifft z.B. Technologien der Bereiche Landwirtschaft, produzierende(s) und verarbeitende(s) Gewerbe / Industrie, Energiegewinnung und -versorgung sowie Abfallentsorgung.
- Gearbeitet wird nutzerorientiert, d.h., die Informationen werden nutzergerecht verarbeitet und weitergegeben; für interessierte, aber mit dem System nicht vertraute Nutzer werden Nutzungsmöglichkeiten entwickelt und angeboten.
- Es werden darüberhinaus andere bekannte und verwandte Dienstleistungen im Bereich der Beratung, Ausbildung über Technologien und Technologiefolgenabschätzung vermittelt.
- Auf diesem Weg erleichtern Clearing-Stellen das Zustandekommen von Joint-Ventures und anderen Partnerschaften zwischen Industrie- und Entwicklungsländern.

Wesentliche Voraussetzung für den Erfolg bei der Bewältigung des Aufgabenkomplexes Entwicklung *und* Umwelt ist ein Wandel der individuellen und gesellschaftlichen Werte und Einstellungen (siehe 2.4). Wenn z.B. Verbraucher globale Umweltqualität als individuellen Nutzen empfinden und nur noch umweltgerecht produzierte Güter abzunehmen bereit sind, werden Produzenten zur Anwendung "sauberer" Technologien "gezwungen".

Die Erwartung, die Lösung der o. a. Aufgaben würde im wesentlichen von privaten Entscheidungsträgern gewährleistet werden können, erweist sich jedoch als fragwürdig. Vielmehr sind staatliche, übergeordnete, politische Eingriffe und Initiativen unerläßlich, die durch

- Gebote oder Verbote (Veränderung des privaten Entscheidungsrahmens)
- Preisbelastungen (z.B. Steuern, Abgaben, Gebühren) oder Preisentlastungen (z.B. Investitionshilfen, Subventionen)
- die Schaffung allgemeiner und betriebsspezifischer Infrastruktur
- Auftragsvergabe
- Informationen, Appelle

auf private Produktions- und Verbrauchsentscheidungen einwirken.

Lokale und regionale Schwierigkeiten müssen in erster Linie durch staatliche Politik in den jeweiligen Ländern bewältigt werden. Zur Lösung *globaler* Probleme reicht nationalstaatliche Politik allerdings nicht aus. Vielmehr sind internationale Kooperation und Koordination sowie die Schaffung von supranationalen Institutionen unabdingbar erforderlich. Diese Feststellung basiert auf

der Überlegung, daß globale Umweltqualität aus einzelstaatlicher, individueller Sicht durch folgende Merkmale gekennzeichnet ist:

- niemand kann von dieser Qualität ausgeschlossen werden, unabhängig vom eigenen Verhalten; (wenn "andere" für die notwendige Qualität sorgen, hat man in vollem Umfang den Nutzen, ohne selbst Kosten zu tragen);
- die "Betroffenheit" differiert regional erheblich (z.B. Ozonloch, Verursacher und Betroffene sind in unterschiedlichen Ländern und Regionen anzutreffen);
- ein individueller Beitrag zur Verbesserung dieser Qualität erscheint für eine einzelne Entscheidungsinstanz relativ wirkungslos, solange die "anderen" ihr bisheriges Verhalten beibehalten.

Dieser Zusammenhang unterstreicht die Verantwortung und Notwendigkeit staatlicher Umwelt- *und* Entwicklungspolitik auf nationaler und internationaler Ebene.

2.1 Bevölkerungswachstum, -migration und Urbanisierung

Kurzbeschreibung

Zu den wesentlichen Herausforderungen bei der Bewältigung der globalen Aufgaben "Umwelt *und* Entwicklung" zählt zweifellos das starke und regional sehr ungleichmäßige Wachstum der Erdbevölkerung. Langfristig gesehen ist die menschliche Reproduktion sogar das Kardinalproblem: Jeder Mensch hat Anspruch auf Erfüllung seiner Daseinsgrundbedürfnisse; dies ist mit einem erheblichen zusätzlichen Verbrauch endlicher und erneuerbarer Ressourcen sowie einer starken Beanspruchung ohnehin belasteter Ökosysteme verbunden, insbesondere bei Beibehaltung der bisherigen Produktionstechnologien sowie der Gebrauchsgewohnheiten.

Gegenwärtig verzeichnet die Welt das höchste Bevölkerungswachstum der Menschheitsgeschichte. Während 1992 etwa 5,5 Mrd. Menschen auf der Erde lebten, geht die mittlere von 3 Bevölkerungsprognosen der UNPD (United Nations Population Division) von 6 Mrd. Menschen im Jahr 1998 und 10 Mrd. Menschen im Jahr 2050 aus. Für das nächste Jahrzehnt bedeutet dies, daß jährlich ca. 97 Mio. Menschen mehr auf der Erde leben und die globalen Umweltveränderungen verstärken werden. Wie aus dem nachfolgenden Schaubild (Abbildung 10) hervorgeht, weichen die Berechnungen der Vereinten Nationen geringfügig von den Prognosewerten der Weltbank ab, die in ihrem Weltentwicklungsbericht 1992 ein Basis-Szenario von 5,3 Mrd. und ein Jahreswachstum von 93 Mio. Menschen für die nächste Dekade zugrunde legt. In Anbetracht der vorliegenden Größenordnungen erweisen sich diese Differenzen jedoch als marginal. Deutliche Projektionsunterschiede sind dagegen für die Extrem-Szenarien der UNPD und der Weltbank festzustellen. Während die Höchstschätzung der Vereinten Nationen von 28 Mrd. Menschen im Jahr 2150 ausgeht, weist das entsprechende Szenario der Weltbank eine Bevölkerungszahl von ca. 22 Mrd. Menschen aus. Für die Minimumschätzung stellt sich die Abweichung noch gravierender dar. Hier sagt die UNPD einen Wert von ca. 4,5 Mrd. voraus, während die Weltbank eine Gesamtbevölkerungszahl von ca. 10 Mrd. Menschen prognostiziert. Die Differenz entspricht in etwa der Weltbevölkerungszahl des Jahres 1992 und ist ein Indiz dafür, daß sich die Entwicklung der Zahl der Geburten und Sterbefälle nur sehr schwer einschätzen läßt.

Trotz der bestehenden Projektionsunsicherheiten muß davon ausgegangen werden, daß die Zahl der Menschen weltweit auch bei weiter sinkenden Geburtenraten *zumindest* bis zum Jahr 2050 stetig zunehmen wird und daß mit einer Verdopplung der aktuellen Weltbevölkerungszahl zu rechnen ist.

97 % dieses Bevölkerungswachstums werden dabei auf Afrika, Asien und Lateinamerika entfallen (Deutsche Gesellschaft für die Vereinten Nationen, DGVN, 1992a). Es wäre jedoch verfehlt, aus dieser Form der räumlichen

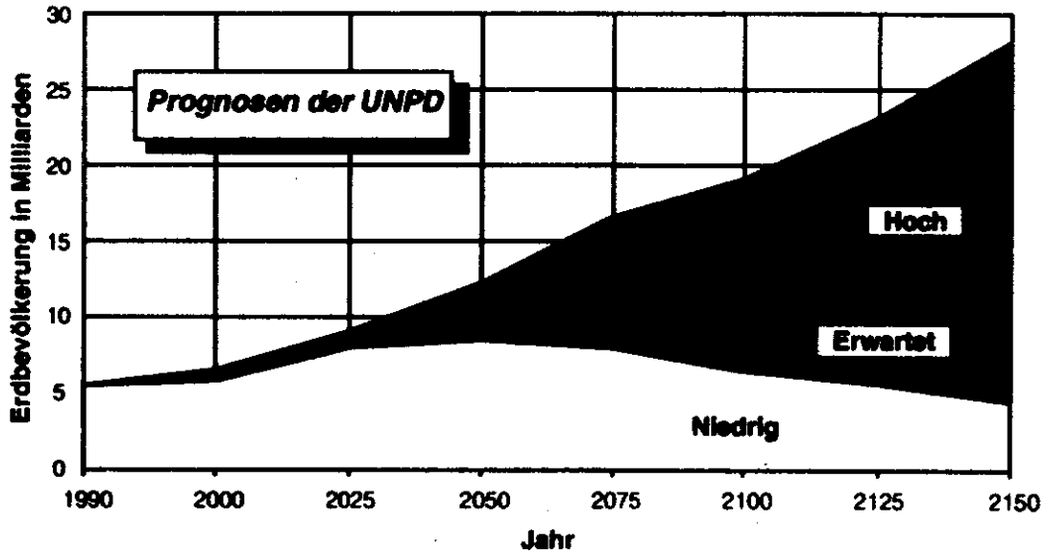
Polarisierung den Schluß zu ziehen, es würde sich um ein regional bzw. kontinental begrenztes Problem handeln. Das Ausmaß des Bevölkerungswachstums sowie die ungleichmäßige räumliche Verteilung der Menschheit werden Umweltveränderungen, aber auch massive Migrationsprozesse auslösen bzw. verstärken, mit denen auch Nationen mit stabiler Bevölkerungsentwicklung - wie die Bundesrepublik Deutschland - konfrontiert sein werden. Insoweit handelt es sich wirklich um ein globales Phänomen.

Die Schätzungen über die weltweite Zahl der derzeitigen Migranten schwanken zwischen einigen Millionen und einer halben Milliarde. Das Internationale Komitee des Roten Kreuzes gibt z.B.an, daß 500 Mio. Menschen aus Umweltgründen migriert sind. Die Berechnungen der Vereinten Nationen (United Nations High Commissioner for Refugees, UNHCR) umfassen alle offiziell geschätzten legalen weltweiten Einwanderungsbewegungen und gehen von 16 Mio. Menschen aus. Die Unterschiede in den Schätzungen sind im wesentlichen auf eine unvollkommene Datenbasis, Probleme bei der Unterscheidung zwischen legalen und illegalen Einwanderungen sowie auf eine hohe Dunkelziffer zurückzuführen.
Die Zahl der Wanderungsbewegungen wird künftig noch erheblich steigen und die Situation verschärfen. Mit zunehmender Tendenz werden intra- und interregionale Bevölkerungsmigrationen aus ökonomischen und ökologischen Gründen stattfinden. Man schätzt, daß weltweit, insbesondere in den Entwicklungsländern, jährlich ca. 40 Mio. Menschen aus den ländlichen Gebieten in die Städte ziehen ("intranationale Wanderung").

Auch Wanderungsbewegungen über nationale Grenzen hinaus werden immer mehr zu einem globalen Problem. Nicht weniger als 70 Mio. Menschen, meist aus Entwicklungsländern, arbeiten legal oder illegal in anderen Ländern. Darüber hinaus stieg die Zahl der jährlich registrierten Flüchtlinge weltweit von 2,8 Mio. im Jahr 1976 auf 17,3 Mio. im Jahr 1990 (DGVN, 1992a). Diese Zahlen, wie auch die Zahl der "Umweltflüchtlinge", werden laut einer Studie der FAO (Food and Agricultural Organization of the United Nations) in den nächsten Jahren drastisch zunehmen. Ziel für internationale Wanderungen sind ebenfalls fast ausschließlich Städte.

Allen Schätzungen ist gemein, daß sie aufgrund ihrer unterschiedlichen begrifflichen und statistischen Basis nicht vergleichbar und im Hinblick auf ihre Prognosefähigkeit nicht präzise sind. Sie zeigen allerdings, daß die Zahl der Migranten von Jahr zu Jahr steigt und weiterhin steigen wird. Allein aus der Tatsache, daß die Bevölkerung der Entwicklungsländer stärker wächst als die Bevölkerung der Industriestaaten, ergibt sich

- ein Wanderungsdruck in den Entwicklungsländern infolge von Armut *und* Umweltbeeinträchtigung;



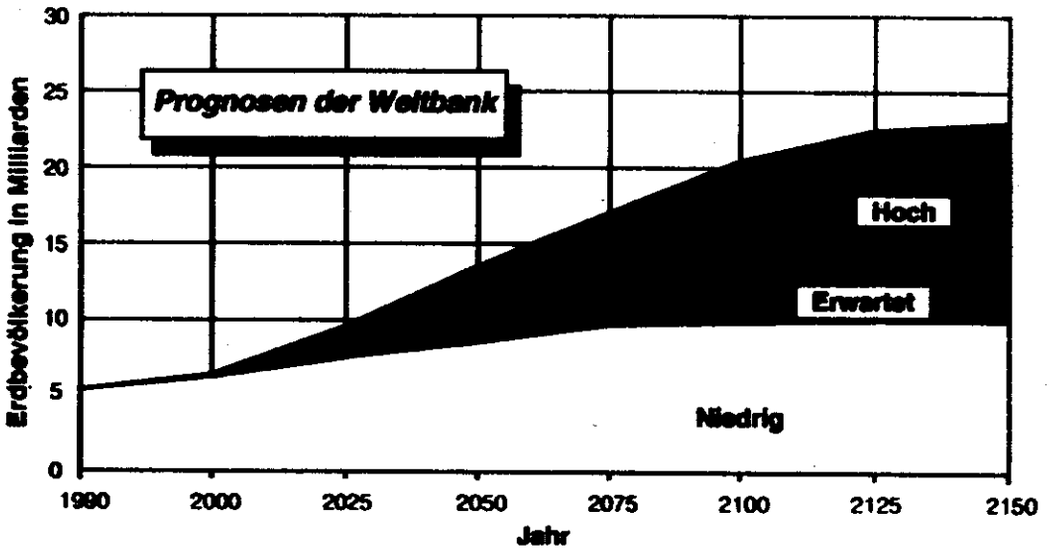


Abbildung 10: Bevölkerungsprognosen bis zum Jahr 2150
(Nach United Nations Population Division, 1992 und Weltbank, 1992)

- ein Wanderungssog in den Industrieländern infolge des hohen Lebensstandards und der Veränderung der Altersstruktur (mehr alte, weniger junge Menschen).

Neben dem regional unterschiedlich starken Bevölkerungswachstum ist seit den 70er Jahren insbesondere in den Schwellen- und Entwicklungsländern eine zunehmende Urbanisierung zu beobachten. 83 % des weltweiten Bevölkerungswachstums entfallen auf städtische Strukturen, d. h. die Stadtbevölkerung wird im nächsten Jahrzehnt jährlich um ca. 80 Mio. Menschen zunehmen. Oder anders ausgedrückt: Jedes Jahr könnten neben den bestehenden städtischen Verdichtungsräumen acht "neue" Zehn-Millionen-Städte entstehen.

Die vorhandenen Siedlungssysteme werden durch den Bevölkerungszuwachs in erheblichem Maße zusätzlich beansprucht. Städtische Infrastrukturen sind bereits heute vielfach überlastet; dies gilt sowohl für sich entwickelnde als auch für entwickelte Staaten. In 15 Jahren müßten die Entwicklungsländer ihre Produktionskapazitäten, ihre städtische Infrastruktur, ihre Dienstleistungen und ihre Siedlungsstruktur um 65 % ausbauen, um zumindest die derzeitigen Lebens-, Wohn- und Arbeitsbedingungen gewährleisten zu können. Um sie gar zu verbessern, wären entsprechend größere Anstrengungen notwendig.

Durch den gewaltigen und rasanten Ausbau der Stadtsysteme entstehen hohe soziale Kosten und Umweltschäden. Beides kann schon heute von den Städten und Metropolen der Erde nicht mehr in der Geschwindigkeit kompensiert bzw. reduziert werden, wie neue Kosten und Schäden entstehen. Die Trinkwasserqualität und Höhe des Anteils der an die Kanalisation angeschlossenen Haushalte sind z.B. wichtige Indikatoren für den Entwicklungsstand und den Belastungsgrad der Umwelt. Gelingt es nicht, das Wachstum der Bevölkerung und die Degeneration der Siedlungssysteme zu steuern oder gar zu reduzieren, werden zuallererst die Städte als Konzentrationspunkte der Bevölkerungsentwicklung kollabieren, weil Luft, Boden und Wasser der Städte verseucht sind und das Stadtklima - atmosphärisch wie sozioökonomisch - dem menschlichen Leben die Grundlagen entzieht. Dies wird zwangsläufig den bestehenden internationalen Wanderungsdruck erhöhen.

Die folgende Übersicht (Tabelle 19) zeigt die erwartete Entwicklung der Einwohnerzahlen in einigen Megastädten. Wenn die Angaben der verschiedenen Quellen auch z. T. erhebliche Unterschiede aufweisen (unterschiedliche Raumeinheiten, unterschiedliche Parameter, unterschiedliche Prognosemethoden), so ist doch ein Trend unverkennbar.

Die regionale und globale räumlich-funktionale Arbeitsteilung und die Polarisierung der Menschheit - etwa in Stadt- und Landbevölkerung, arm und reich, medizinisch versorgt und nicht versorgt, gebildet und ungebildet - werden die

heute bereits erkennbaren Migrationsströme verstärken. Die zunehmende Urbanisierung steigert die mit dem Bevölkerungswachstum ohnehin verbundenen negativen Entwicklungserscheinungen und wird sich zu einem der stärksten umweltbelastenden Faktoren auf globaler Ebene entwickeln.

Auch hier ist ein Selbstverstärkungseffekt festzuhalten: Menschliche Reproduktion, zunehmende Wanderungsprozesse und sich verstärkende Agglomerationsprozesse ziehen globale Umweltauswirkungen nach sich, z.B. in Form einer Zunahme des CO_2-Gehalts in der Atmosphäre. Andererseits wirken sich eben diese Umweltveränderungen auch wieder auf die Menschen aus. So führt ein Anstieg des Meeresspiegels zu weiteren Verdrängungs- und Migrationsprozessen.

Ursachen

Ursachen des hohen Bevölkerungswachstums

Statistisch gesehen ist das hohe Bevölkerungswachstum zunächst das Ergebnis des Ungleichgewichtes zwischen Fertilität und Mortalität. Der auf dieser Grundlage berechenbare Saldo gibt jedoch keinerlei Aufschluß über die kausalen Zusammenhänge, die das derzeitige, regional sehr unterschiedliche Verhältnis von Geburten- zu Sterberate bestimmen. Um auch für die Bundesrepublik Deutschland Handlungsperspektiven aufzeigen zu können, die zu einer Reduzierung des globalen Bevölkerungswachstums führen, müssen zunächst die Determinanten von Fertilität und Mortalität und deren Beziehungsgeflecht analysiert werden.

Zu den wesentlichen Ursachen des Ungleichgewichtes zwischen Fertilität und Mortalität und den damit verbundenen Defiziten im Zuge des demographischen Übergangs zählen:

- die Rentenfunktion der eigenen Nachkommen in Ländern ohne staatliche Altersversorgung;
- die untergeordnete Stellung der Frau innerhalb der Gesellschaft;
- Defizite im Bereich der nationalen Bevölkerungspolitik und der individuellen Familienplanung;
- der Grad der medizinischen Versorgung.

Die Rentenfunktion der eigenen Nachkommen

Die Theorie des demographischen Übergangs (demographische Transformation) beschreibt die Entwicklung einer Gesellschaft, deren Bevölkerungsentwicklung durch eine hohe Fertilitäts- und Mortalitätsrate geprägt ist, zu einer Gesellschaftsform mit niedriger Geburten- und Sterberate. Für die entwickelten Nationen kann der Abschluß dieses Transformationsprozesses festgestellt werden. In armen Ländern mit hoher Kindersterblichkeit dagegen wird der demographische Übergang häufig durch ein "familienbezogenes Nachwuchskalkül" gehemmt, da dort eine hohe Kinderzahl oftmals die staatliche Altersver-

	Mio. Einwohner						
	Statistisches Bundesamt 1992 Angaben für verschiedene Zeitpunkte	*Dritte Welt Presse (Otterbein) 1991 Angaben für 1990*	*DGVN (Mackensen) 1992 Angaben für 1990*	*DGVN (Mackensen) 1992 Angaben für 2000*	*Linden (UNPD) 1993 Angaben für 1992*	*Linden (UNPD) 1993 Angaben für 2000*	*Dritte Welt Presse (Otterbein) 1991 Angaben für 2000*
Mexico-City	18,7 (1990)	19,4	19,4	26,3	15,3	16,2	24,4
Tokio	28,3 (1989)	28,7	-	17,1	25,8	28,0	21,3
Sao Paulo	16,8 (1989)	17,2	15,8	24,0	19,2	22,6	23,6
New York	18,1 (1990)	17,4	18,1	15,5	16,2	16,6	16,1
Shanghai	9,3 (1989)	9,1	-	13,5	14,1	17,4	14,7
Kalkutta	9,2 (1981)	12,8	9,2	16,6	11,1	12,7	15,9
Buenos Aires	11,1 (1988)	12,4	10,7	-	11,8	12,8	13,1
Rio de Janeiro	11,1 (1989)	10,9	10,5	13,3	11,3	12,2	-
Seoul	9,6 (1985)	15,8	9,6	13,5	11,6	13,0	-
Delhi	5,7 (1981)	9,8	5,7	13,3	8,8	11,7	-
Bombay	8,2 (1981)	12,9	8,2	16,0	13,3	18,1	15,4
Kairo	7,9 (1986)	11,0	-	-	9,0	10,8	-
Lagos	4,6 (1990)	-	-	-	8,7	13,5	-
Jakarta	7,8 (1985)	9,9	-	-	10,0	13,4	13,2

Tabelle 19: Bevölkerungsbezogene Größe bzw. Entwicklung ausgewählter Megastädte (Statistisches Bundesamt 1992, Otterbein 1991, Deutsche Gesellschaft für die Vereinten Nationen 1992c, Linden 1993)

sorgung ersetzen muß. Deshalb führt die Steigerung der durchschnittlichen Lebenserwartung nicht zu einer Reduzierung der Geburtenrate solange die Kindersterblichkeit hoch ist. Die Nachwuchsgenerationen "sprengen (z. T. mit zeitlicher Verzögerung) knapp finanzierte Entwicklungsprogramme, das Gesundheitswesen, die Schulsysteme, Produktionsstätten und üben Druck auf Wohnungsbau, Wasserversorgung und urbane Zonen aus" (DGVN, 1992b). Dieser Entwicklung kann nur mit Hilfe zusätzlicher finanzieller Unterstützung, d.h. Transferzahlungen, die das ökonomische Entwicklungspotential nicht verbessern, begegnet werden.

Die gesellschaftliche Stellung der Frauen
Das Recht der Frauen auf Selbstbestimmung wird zunehmend als Schlüsselfunktion im Rahmen einer nachhaltigen Entwicklung erkannt. Neben ethischen Argumenten spielt vor allem die Erkenntnis eine Rolle, daß durch eine bessere Gesundheits- und Bildungsversorgung der Frauen sowie durch Erleichterung des Zugangs zum Berufsleben ein wesentlicher Schritt im Hinblick auf eine Reduzierung des Bevölkerungswachstums getan werden kann.

Allein in Afrika haben 77 % der Frauen, die nach persönlichem Bekunden keine weiteren Kinder mehr gebären möchten, nicht die Möglichkeit, eine aktive Empfängnisverhütung zu praktizieren. In Asien sind 57 % und in Lateinamerika immerhin noch 43 % der Frauen von diesem Mißstand betroffen (United Nations Fund for Population Activities, 1991).

Untersuchungsergebnisse aus Brasilien dokumentieren eindrucksvoll den Zusammenhang zwischen Bildungsstand und Fertilität. Es wurde nachgewiesen, daß bei Frauen, die eine weiterführende Schule besuchen, im Durchschnitt vier Geburten weniger zu verzeichnen sind, als bei Frauen ohne Schulbildung.

Die Statistik der Vereinten Nationen weist zudem aus, daß über 10 % der Geburten in Afrika und Lateinamerika auf Frauen im Alter zwischen 15 und 19 Jahren entfallen. Abgesehen von der Tatsache, daß diesen Frauen frühzeitig der Zugang zu (weiterführenden) Bildungseinrichtungen verwehrt wird, sind Mütter dieser Altersgruppe gesundheitlich stärker gefährdet als ältere Frauen; zudem ergibt sich eine erhöhte Kindersterblichkeit.

Defizite im Bereich der Bevölkerungspolitik und der Familienplanung
Bevölkerungsprogramme als Bestandteil einer organisierten Bevölkerungspolitik haben zweifellos einen signifikanten Einfluß auf das Ausmaß des Bevölkerungswachstums. Allerdings sind sich nicht alle Länder mit hohem Bevölkerungswachstum dieser Bedeutung bewußt. Einige Länder lehnen die Familienplanung als Instrument der Bevölkerungspolitik sogar vollständig ab. Dies mag daran liegen, daß bevölkerungspolitische Maßnahmen sehr viel mehr Zeit benötigen als beispielsweise wirtschaftspolitische Maßnahmen, um

sichtbare Erfolge zu zeigen. In dieser Hinsicht wird den Initiativen der Bevölkerungspolitik vielfach nicht die notwendige Unterstützung und Priorität eingeräumt. Um - wenn auch nur langfristig - erfolgreich zu sein, muß die Bevölkerungspolitik institutionell fest in die politischen Strukturen eines Landes eingebunden werden; eine Vorgehensweise, von der allerdings erst 45 Nationen Gebrauch machen. Bereits sichtbare Teilerfolge auf dieser Ebene verweisen auf ein erhebliches Potential, das noch genutzt werden kann.

Medizinische Versorgung

Die Versorgung der Menschen mit medizinischen Gütern und Dienstleistungen nimmt in bezug auf ihre demographische Wirkung eine ambivalente Stellung ein. Mit der Einführung der Antibiotika, der zunehmenden Anwendung von Schutzimpfungen sowie der Malariabekämpfung stieg die Lebenserwartung der Menschen insbesondere in den Entwicklungsländern deutlich (DGVN, 1992a). Der medizinische Fortschritt ist somit einerseits unmittelbar für das besonders hohe Bevölkerungswachstum zu Beginn der zweiten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts und den damit verbundenen globalen Umweltauswirkungen verantwortlich. Andererseits gelang es mit Hilfe des medizinischen Fortschritts, die Kindersterblichkeit nachhaltig zu reduzieren, mit der Folge, daß bei einer höheren Überlebensrate die Anzahl der Kinder pro Familie zurückging, da sich die individuelle Sicherheit der Eltern hinsichtlich ihrer Altersversorgung bereits bei geringerer Kinderzahl einstellte.

Die demographischen Auswirkungen des medizinischen Fortschritts lassen sich letztendlich nicht quantifizieren. Die Auswirkungen der Versorgung der Menschheit mit medizinischen Gütern und Dienstleistungen wird weiterhin eine unsichere Variable im Rahmen der Bevölkerungsprognosen bleiben.
Gleichwohl bleibt die Zahl von 1,5 Mrd. Menschen, die im Jahr 1990 im Bereich der Gesundheitsfürsorge keinen Zugang zu moderner medizinischer Versorgung hatten (DGVN, 1992a), eine Verpflichtung für die internationale Gemeinschaft, zu handeln.

Ursachen der Zunahme von Migrationen

Unter Migration versteht man jede "großräumige" Bewegung von einzelnen Menschen oder Menschengruppen, die aus der Region, in der sie bislang überwiegend ihren Wohnsitz hatten, in eine andere Region ziehen, um dort für einen längeren Zeitraum oder dauerhaft zu leben. Wanderungen setzen die Fähigkeit und Bereitschaft zur regionalen Mobilität voraus.

Die *Fähigkeit* zur regionalen Mobilität ist bestimmt durch

- Art und Zustand der Verkehrswege und die verfügbaren Verkehrsmittel;
- die Höhe der Kosten (finanzielle Aufwendungen, Dauer, "Strapazen").

Die *Bereitschaft* zur regionalen Mobilität hängt ab vom

- Wanderungsdruck (Push-Faktoren): Unzufriedenheit über den bisherigen Standort; pessimistische Zukunftserwartungen; Beeinträchtigung bzw. Zerstörung der bisherigen Lebensgrundlagen.
- Wanderungssog (Pull-Faktoren): Attraktivität von Wanderungszielgebieten; Hoffnung auf Verbesserung der persönlichen Lebensumstände (Sicherheit, wirtschaftliche Basis, Zukunftschancen). Dies gilt auch, wenn die Zielregion zu Beginn der Migration noch nicht eindeutig bestimmt ist (Flucht).

Die Ursachen für Wanderungen bzw. Migrationen können somit in eher erzwungenen oder eher freiwilligen Gründen liegen (eine exakte Trennung ist nicht in jedem Fall möglich):

- Menschenrechtsverletzungen und Verfolgungen aus politischen, religiösen und ethnischen Gründen;
- Naturkatastrophen;
- anthropogene Katastrophen, wie z.B. Chemie- oder Nuklearunfälle;
- nationale und internationale militärische Konflikte;
- Seuchen;
- Reduzierung und Vernichtung der ökonomischen Basis (z.B. Wüstenbildung, Anstieg des Meerwasserspiegels);
- Verdrängung aufgrund des Baus großflächiger Einrichtungen (z.B. Staudämme);
- Wachstum der Landbevölkerung und der damit verbundenen Übernutzung von natürlichen Ressourcen (z.B. Boden und Wasser);
- Armut;
- Hoffnung auf Sicherung der Existenzgrundlagen;
- Hoffnung auf sozialen Aufstieg.

Die Schätzungen über das Ausmaß gegenwärtiger und künftiger Wanderungen erweisen sich als sehr problematisch. Festzuhalten ist, daß es sich hierbei um einen *global bedeutsamen Trend mit zunehmender Tendenz* handelt.
Der größte Anteil bisheriger Wanderungsbewegungen entfällt auf Migrationen innerhalb nationaler Grenzen. *Intranationale* Wanderungen sind - noch - vorwiegend ökonomisch bedingt. Dies beweisen z.B. die knapp 400.000 Menschen, die innerhalb eines Jahres (1990) aus den neuen in die alten Bundesländer wanderten. Land-Stadt-Wanderungen - vor allem in den Schwellen- und Entwicklungsländern - entstehen, weil ländliche Gebiete in der Regel gegenüber den Städten wirtschaftlich benachteiligt sind. Sie verfügen nur etwa über die Hälfte der Versorgungseinrichtungen für Gesundheit, Trinkwasser und Sanitäreinrichtungen. Auch sind die Verdienstmöglichkeiten auf dem Land nur halb so groß wie in den Städten (DGVN, 1992a).

Umweltbedingte Wanderungsbewegungen nehmen einen zunehmend größeren Anteil an der Gesamtzahl der Wanderungen ein. Dies gilt auch für industriali-

sierte Regionen. Die Reaktorkatastrophe in Tschernobyl ließ mehr als 100.000 Menschen flüchten (Keller, 1990).

Die meisten Migrationen aus Umweltgründen entstehen durch anthropogene Umweltschäden des Schutzgutes Boden. Die Gründe sind:

- fehlerhafte bzw. übermäßige Landnutzung;
- Störung des Wasserhaushaltes;
- Verschiebung der natürlichen Vegetationszonen durch anthropogene Klimaänderung.

FAO-Zahlen zufolge entstehen jedes Jahr 6 - 7 Mio. ha neue Wüstenfläche durch falsche Bodenbewirtschaftung. Überschwemmungen, Versalzung und Alkalisierung der Böden lassen weitere 1 bis 2 Mio. ha Ackerfläche jährlich unbrauchbar werden. Insgesamt wird etwa eine halbe Mrd. ha Ackerfläche unwiderruflich verloren gehen (Keller, 1990). Fast eine Milliarde Menschen sind mittel- bis langfristig von der Wüstenbildung betroffen und die meisten werden dadurch zur Migration gezwungen (Wöhlcke, 1992).

Durch Bevölkerungswachstum auf der einen und Landschaftsverbrauch auf der anderen Seite vermindert sich - unabhängig vom Entwicklungsstand der betrachteten Staaten - die landwirtschaftliche Nutzfläche pro Kopf. Ein Ausdehnen der landwirtschaftlichen Produktionsfläche bzw. eine entsprechende Steigerung der Ertragsfähigkeit ist nach heutigen Erkenntnissen (z.B. bei dem Stand der heute zur Verfügung stehenden Technologien) langfristig nicht in dem Maße und in der Geschwindigkeit möglich, wie landwirtschaftliche Produktionsflächen verloren gehen, da man auf natürliche vegetationsklimatische Grenzen stößt.

Außerdem birgt intensive Bewirtschaftung von landwirtschaftlichen Nutzflächen in den Entwicklungsländern häufig die Gefahr, daß der Energieinput in die Landwirtschaft größer wird als der Energieoutput.

Wasserknappheit kann eine weitere Ursache für eine rasche Abwanderung von Menschen in wasserreiche Gebiete sein. Schlechte Wasserqualität führt dagegen meist nicht sofort, sondern erst langfristig - wenn überhaupt - zu Abwanderungen, weil die Gefahr von der Bevölkerung unterschätzt wird, oder für sie keine Alternativen bestehen. Die Schätzungen über die Zahl der Menschen, die deshalb durch schlechter Wasserqualität erkranken, belaufen sich auf mehr als 1 Mrd. (Wöhlcke, 1992).

Die Anzahl großer Staudämme ist in den vergangenen Jahrzehnten sprunghaft gestiegen. Von den über 35.000 Staudämmen der Erde befinden sich beispielsweise über die Hälfte allein in der Volksrepublik China. Dieses Land benötigt eine dem raschen Bevölkerungswachstum angemessene Wasser- und

Energieversorgung. Diesem Ziel werden die negativen Folgen des Baus von Staudämmen vielfach untergeordnet:

- Ganze Landstriche werden überflutet bzw. trocknen durch die Wasserregulierung aus.
- Das Kleinklima kann sich ändern.
- Große, stehende Gewässer können zu Krankheitsherden werden und durch die Akkumulation von Salzen und Chemikalien verschmutzen.
- Menschliche Siedlungen müssen durch Überflutung aufgegeben werden, und die Bevölkerung muß umgesiedelt werden.
- Eine Umsiedlung führt oft zu einer Veränderung der Sozialstrukturen und daher u.a. zu unkalkulierbaren witschaftlichen und gesellschaftlichen Umstrukturierungen.
- Die geänderte Wasserbewirtschaftung verändert die Wirtschafts- und Lebensweise der Menschen im Einzugsgebiet der Staudämme. Dies betrifft überwiegend die Erwerbstätigen in der Land- und Forstwirtschaft.
- Der Bau von Staudämmen in den Entwicklungsländern belastet diese mit hohen Kreditschulden und Tilgungszinsen, die von den Geberländern verlangt werden.
- Der Bau von großen Staudämmen mit seinen negativen ökologischen Folgen wird von den Industrieländern vorfinanziert, während dies für die Beseitigung oder Minderung der negativen Folgen nicht im gleichen Maße gilt. So wirken sich gesellschaftliche Veränderungsprozesse zum Teil erst langfristig aus und sind in der Regel monetär nicht meßbar. Demzufolge gehen diese Folgen zulasten der Länder, in denen die Staudämme errichtet wurden.

Besonders stark wird sich die mögliche Erhöhung des Meeresspiegels als Folge der Erwärmung der Erdatmosphäre auswirken. Ebenso wird die steigende Gefahr von Stürmen und Überschwemmungen eine zunehmende Rolle spielen.

Ein wesentlicher, wenngleich schwer abzuschätzender Faktor für Umweltzerstörungen und Umweltbelastungen sowie für Wanderungen (Flüchtlinge) stellen kriegerische Auseinandersetzungen dar. Zwar sind derartige Auswirkungen zunächst meistens lokaler oder regionaler Natur. Die Tatsache, daß seit dem Zweiten Weltkrieg weltweit mehr als 150 Kriege geführt worden sind, aber auch die Art der Kriegsführung (z.B. Anzünden der kuwaitischen Ölquellen im Golfkrieg; Gefahr des Einsatzes von Atom- und Chemiewaffen) unterstreichen die globale Bedeutung dieses Problemkomplexes.

Die genannten Ursachen können zu einer erheblichen Verstärkung von Wanderungsbewegungen und insbesondere zu Flüchtlingsströmen über die nationalen Grenzen hinaus führen. Internationale Wanderungen sind gegenwärtig im Vergleich zu intranationalen Wanderungen quantitativ allerdings noch von geringerer Bedeutung. Der Großteil der Wanderungen führt zur Zeit aus

ärmeren, bevölkerungsreichen Ländern in wohlhabendere, "bevölkerungsarme" Staaten:

- innerhalb der Länder der Europäischen Gemeinschaft und von Ost- nach Westeuropa. Allein 1989 z.B. verließen über eine Million Menschen die ehemaligen Ostblockstaaten;
- aus Kleinasien (Türkei) und (vorwiegend) Nord-Afrika nach Europa. Hier liegen erhebliche wirtschaftliche und demographische Ungleichgewichte vor. Es wird erwartet, "daß in den nächsten drei Jahrzehnten allein aus dem Maghreb 25 - 30 Mio. Menschen nach Europa drängen werden" (Stiftung Entwicklung und Frieden, 1991, S. 95);
- aus bevölkerungsreichen arabischen und süd- sowie südostasiatischen Staaten in bevölkerungsarme, wohlhabendere Golfstaaten sowie ostasiatische, westeuropäische und nordamerikanische Staaten;
- aus Lateinamerika und der Karibik nach Nordamerika.

In den Entwicklungsländern finden sich oft fließende, statistisch nicht nachvollziehbare Übergänge zwischen internationalen und intranationalen Wanderungen. Die Grenzverläufe vieler Entwicklungsländer stammen vielfach noch aus früheren Kolonialzeiten und wurden relativ willkürlich und ohne Rücksicht auf gleichartige nationale, ethnische oder religiöse Merkmale anderer Staaten gesetzt. Bei kriegerischen Auseinandersetzungen kommt es zu Migrationsbewegungen, die bis an die eigenen Staatsgrenzen und darüber hinweg zu den Nachbarstaaten gehen.

Ursachen der zunehmenden Urbanisierung

"Selbst wenn die Erdkugel eine vollkommen gleiche Oberfläche besäße, gäbe es Städte!" Diese These von A. Lösch aus dem Jahr 1943 bezieht sich auf das soziale Verhalten der Menschen, sich nicht solitär, sondern in Familien, Gruppen und Nachbarschaften anzusiedeln. Dieses soziale Grundprinzip der allgemeinen Konzentration (Zentralisierung) gilt als Leitprinzip der gesellschaftlichen Raumnutzung (Lösch, 1943).

Mit diesem Leitprinzip läßt sich zwar grundsätzlich erklären, warum es überhaupt zur Urbanisierung, also dem Prozeß der städtebaulichen Erschließung von Gebieten und der räumlichen Verdichtung, kommt; es gibt jedoch keinen Aufschluß darüber, warum es insbesondere in den Ländern der Dritten Welt seit den 70er Jahren zu massiven und extrem schnell verlaufenden Urbanisierungsschüben gekommen ist, die auch heute noch anhalten bzw. sogar verstärkt auftreten und zu Begriffsbildungen wie "Primatstadt" und "Mega-City" geführt haben. Diese Bezeichnungen sind allerdings nicht allgemeingültig definiert, wie z.B. durch den Parameter "Einwohnerzahl", so daß die einzelnen Begriffe Überschneidungen aufweisen. Mertins (1992) bezeichnet Großstädte mit mehr als 2 Mio. und weniger als 10 Mio. Einwohner als "Metropolen" und Städte mit mehr als 10 Mio. Einwohnern als

"Megastädte". "Primatstädte" wie Buenos Aires oder Santiago de Chile sind dadurch gekennzeichnet, daß sich ein sehr großer Teil der gesamten Landesbevölkerung sowie die politisch-administrativen, wirtschaftlichen, sozialen und kulturell-wissenschaftlichen Funktionen eines Landes in ihnen konzentrieren, wobei vergleichbare Siedlungsstrukturen auf nationaler Ebene fehlen.

Während es 1950 lediglich 3 Megastädte gab, werden es zur Jahrtausendwende bereits 25 sein, 19 davon in den Entwicklungsländern. Zu diesem Zeitpunkt wird etwa die Hälfte der Weltbevölkerung in Städten leben, wobei die regionalen Disparitäten des urbanen Wachstums bemerkenswert sind. Millionenstädte wie Mexico-City oder Sao Paulo haben innerhalb von 20 Jahren mehr Bevölkerung hinzugewonnen als London oder Paris in 2000 Jahren.

Die wesentliche Ursache für das rasche Wachstum der Großstädte ist - zumindest in der ersten Phase der Urbanisierung - in der Landflucht zu sehen, auf deren Ursachen im vorhergehenden Abschnitt eingegangen wurde.

In späteren Phasen gewinnt das natürliche Bevölkerungswachstum in den Städten an Bedeutung, was u.a. darauf zurückzuführen ist, daß die Altersgruppen zwischen 15 und 35 Jahren überproportional an der Landflucht beteiligt sind und somit auch der Anteil der Frauen im gebärfähigen Alter in urbanen Räumen stark zunimmt.

Hauptgrund für die Landflucht ist die unzureichende Entwicklung des ländlichen Raumes gegenüber der Stadt. In ländlich geprägten Regionen besteht meist ein Mangel an angemessener Versorgung mit sozialer und technischer Infrastruktur (Push-Faktoren), während diese in den Städten aufgrund von Agglomerationsvorteilen vergleichsweise gut ist (Pull-Faktoren).

Mit zunehmender Urbanisierung konzentrieren sich auch die ökonomischen und demographischen Investitionen auf die städtischen Strukturen. Finanzielle Zuweisungen für Förderprogramme in ländlichen Regionen werden vielfach gekürzt oder bleiben ohne sichtbaren Erfolg, da die bestehenden Grundbesitzverhältnisse einen wirksamen Einsatz der Mittel oft nicht zulassen. Bestehende Einkommensdisparitäten zwischen Land- und Stadtbevölkerung verstärken sich dadurch.

Auswirkungen des hohen Bevölkerungswachstums

Auswirkungen

Jede Form menschlichen Handelns führt zu Veränderungen der Umwelt, die teilweise auch globale Dimensionen erreichen können. Viele dieser Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge sind in qualitativer und quantitativer Ausprägung bekannt, während ihre kausalen Verknüpfungen erst noch erforscht werden muß.

Der Beirat sieht im Hinblick auf diesen Themenkomplex erhebliche Wissenslücken und Forschungsdefizite, die einen abschließenden Überblick globaler Umweltauswirkungen infolge des Bevölkerungswachstums zur Zeit nicht zulassen.

Bevölkerungswachstum bedeutet eine Verstärkung von Migrations- und Urbanisierungsprozessen. Diese Prozesse führen potentiell zu einer Verringerung der wirtschaftlichen Entwicklungsbasis und gleichzeitig zu einer Erhöhung globaler Umweltauswirkungen. Umgekehrt führen mangelhafte Versorgung und Umweltqualität (z.B. hohe Kindersterblichkeit, geringe Lebenserwartung, mangelhafte Ausbildung) tendenziell zu einer Erhöhung des Bevölkerungswachstums. Dieser "Teufelskreis" birgt somit Selbstverstärkungseffekte, die eine integrierte Lösung und rasches Handeln erforderlich machen.

Auswirkungen der zunehmenden Migrationen

Die globalen Auswirkungen von Wanderungsprozessen auf Atmosphäre, Klima, Wasser, Böden, biologische Vielfalt sowie die ökonomischen Existenzgrundlagen der Menschen mögen gegenwärtig noch als relativ bedeutungslos eingestuft werden. Andere Ursachen, wie die Bevölkerungszunahme, in Verbindung mit Ressourcenverbrauch, die Emissionen oder das Müllproblem scheinen gravierender zu sein. Für die Beantwortung der Frage, welche Rolle die regionale Verteilung des Bevölkerungswachstums spielen wird, ist es von entscheidender Bedeutung, ob

- die oben aufgeführten Probleme verschärft werden
  oder
- die Brisanz der angesprochenen Fragen abgemildert werden kann mit der Folge, daß wertvolle Zeit zur Lösung der Hauptaufgaben (Umwelt und Entwicklung) gewonnen wird.

Migrationen weisen im wesentlichen folgende Wirkungen auf:

- Räumliche Mobilität hängt vom Alter und Ausbildungsgrad ab. Junge und besser ausgebildete Menschen sind eher zur Migration bereit als ältere und weniger gut ausgebildete. Dies führt in den Ausgangsregionen (Quellgebieten) von Wanderungen zur Schmälerung der Entwicklungsbasis und damit zur Erhöhung des ohnehin vorhandenen Wanderungsdrucks.
- In den Zielregionen entsteht differenziert nach der Ausgangssituation eine zusätzliche Belastung der ökonomischen und ökologischen Systeme. Erweist sich diese Belastung als Überbelastung (z.B. durch Kollaps städtischer Strukturen), werden hier aus Wanderungs*sog*faktoren Wanderungs*druck*faktoren, d.h. aus Wanderungs*ziel*- werden Wanderungs*quell*gebiete.
- Der Urbanisierungsprozeß wird verstärkt, da fast ausschließlich Städte als Wanderungsziel sowohl intra- als auch international in Frage kommen.
- Gemessen an der Gesamtzahl aller Migranten ist der Anteil der Flüchtlinge zwar derzeit kleiner als der Anteil derjenigen, die freiwillig

migrieren. Aber dadurch, daß Fluchtgründe oft plötzlich auftauchen und schwer steuerbare Migrationswellen auslösen, haben Fluchtbewegungen gravierendere Auswirkungen auf die Schutzgüter als freiwillige Wanderungen.

Der Krieg in Afghanistan z.B. ließ schlagartig 5 Mio. Menschen in die umliegenden Länder Iran und Pakistan flüchten (Dannenbring, 1990). Hier leben sie seit über einem Jahrzehnt und belasten deren soziale und ökonomische Lebensgrundlagen. In Somalia, einem der ärmsten Länder der Erde, waren zeitweise ein Siebentel der über 6 Mio. dort lebenden Menschen Flüchtlinge. Ähnlich geht es vielen anderen afrikanischen Staaten, so etwa Malawi oder der Elfenbeinküste.

- In der Mehrzahl der Fälle suchen Migranten näherliegende Zielregionen (die Sogfaktoren aufweisen) auf. Da Zielregionen, wie oben geschildert, durch Überlastung zu Quellregionen werden, entsteht ein sich wiederholender Wanderungsprozeß mit sich ständig verschärfenden Problemen über zahlreiche Wanderungsstationen.

  Aus diesen Gründen lassen sich z. B. in Afrika oder Südasien Wanderungen aus verdichteten Räumen in weniger verdichtete Räume beobachten, und die Menschen nehmen dafür auch karge und schwer bestellbare Böden in Kauf. Die Bewirtschaftung von kargen Böden ist aus naturgegebenen Gründen weniger ergiebig und ertragreich als von nährstoffhaltigeren Böden. Daher werden diese Landstriche in absehbarer Zeit ebenfalls keinen Subsistenzraum mehr abgeben. Die Folge ist erneute Migration.
- Die Konsequenz: Nach Erschöpfung intranationaler Wanderungsziele und bei steigendem Wanderungsdruck werden internationale Migrationen zunehmen und letztendlich auf die hochentwickelten Staaten ausgerichtet sein.
- Eine nationale Politik der Beschränkung von Einwanderungen fördert zunächst im wesentlichen die Suche nach Möglichkeiten zur Umgehung derartiger Restriktionen:
  - die Attraktivität der Zielregionen bleibt bestehen (hoher Versorgungsgrad, Fehlen von Alternativen in den Entwicklungsländern);
  - infolge der "Verknappung" von Wahlmöglichkeiten finden sich "Anbieter", die illegale Möglichkeiten zur Einwanderung offerieren.

Zusammenfassend bedeutet dies: Migrationsprozesse

- können - soweit sie sich spontan vollziehen - den Schwierigkeitsgrad der Aufgaben "Umwelt *und* Entwicklung" vervielfachen;
- gewinnen zwangsläufig wegen der Selbstverstärkung globale Dimensionen;
- betreffen - wenn auch mit zeitlichen Verzögerungen - jeden Staat; sie stellen eben nicht nur ein allgemeines - aus ethischen und humanitären Gründen weltweit zu lösendes - Problem dar, sondern sie erreichen für jede Gesellschaft - auch für die Bundesrepublik - nationale Dimension;

- begründen akuten Handlungsbedarf: international abgestimmte und verantwortungsvolle Politik bietet die Chance zur Beeinflussung von Wanderungsbewegungen; wie bereits ausgeführt, ist dies nicht mit einer Lösung, sondern lediglich mit eine Abmilderung der aufgeführten Probleme gleichzusetzen; sie verschafft zumindest einen Zeitaufschub für die Bewältigung der zentralen Aufgaben "Umwelt *und* Entwicklung";
- eröffnen für die hochentwickelten Länder die Möglichkeit, ihr "Altersstrukturdefizit" auszugleichen (steigende Lebenserwartung, sinkende Arbeitszeit, niedrige "nationale" Geburtenrate).

Auswirkungen der zunehmenden Urbanisierung

In der historischen Betrachtung der gesellschaftlichen Raumnutzung ließ sich stets ein enger, positiver Zusammenhang zwischen der Größe einer Stadt und ihrem wirtschaftlichen Entwicklungsstand aufzeigen. Das heutige rasante Wachstum der Städte dagegen muß in den meisten Fällen für die Stadtbevölkerung als bedenklich und als Indikator des wirtschaftlichen Niedergangs und der zunehmenden Verarmung der Landbevölkerung angesehen werden.

Die Erfahrungen aus der Vergangenheit belegen, daß rapide wachsende Stadtsysteme gravierende Umwelt- und Verkehrsbelastungen und erhebliche soziale Probleme (z.B. Anstieg der Kriminalität) zur Folge haben (DGVN, 1992a). Es stellt sich die Frage, ob es sich bei den genannten Phänomenen um lokal oder regional begrenzte Problembereiche handelt, oder ob sich hinter dem Prozeß der zunehmenden Urbanisierung Problemkomplexe verbergen, die mit *globalen Umweltveränderungen* in Beziehung stehen.

Betrachtet man Analysen der klimatischen Situation von Städten, so stößt man häufig auf folgende Form der schematischen Darstellung (Abbildung 11). Der städtische Raum wird als isoliertes, geschlossenes System betrachtet, das durch eine Kuppel von der Umwelt getrennt ist. Eine globale Dimension in bezug auf Umweltveränderungen läßt sich aus dieser Darstellung zunächst nicht herleiten. Begriffe wie *Stadtatmosphäre* und *städtische Wärmeinsel* unterstreichen die lokale bzw. regionale Begrenztheit urbaner Systeme genauso wie die quantifizierbare, stärkere Verunreinigung der Stadtluft gegenüber der Luft in der Umgebung, "die ihren sichtbaren Ausdrück in der Dunsthaube über der Stadt findet und die einfallende Strahlung abschwächt" (Heyer, 1972). Temperaturunterschiede im Vergleich zum Umland, die verkürzte Sonnenscheindauer infolge verstärkter Quellbewölkung sowie eigendynamische Windverhältnisse weisen darauf hin, daß urbane Räume zumindest in Hinblick auf ihre klimatischen Verhältnisse eher lokale als globale Umweltveränderungen hervorrufen.

Für das Phänomen der *städtischen Wärmeinsel* läßt sich eine hohe Korrelation zwischen der Stadt-Umland-Temperaturdifferenz und der Anzahl der Stadtbewohner nachweisen. Je höher die Bevölkerungszahl innerhalb eines

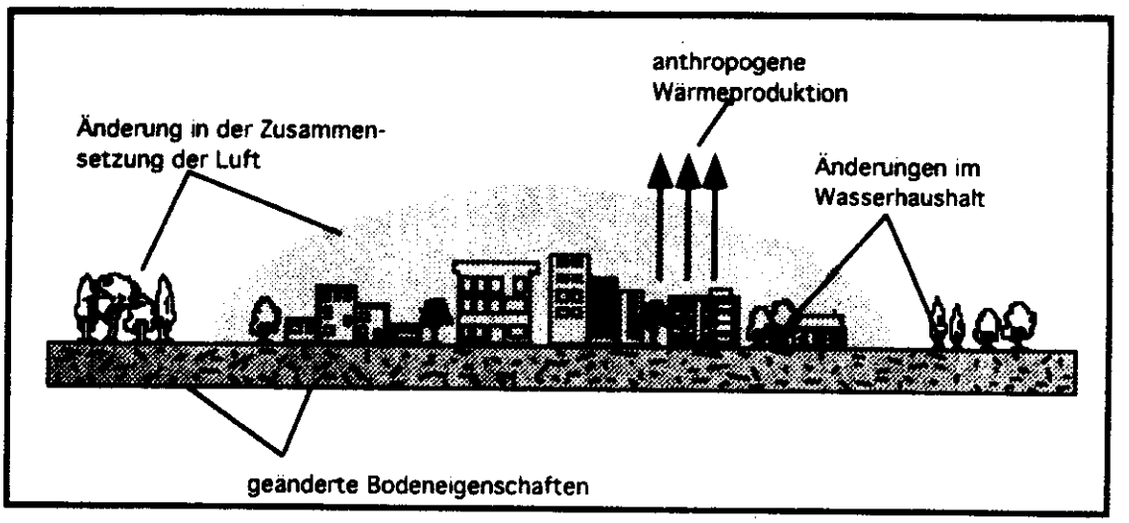


Abbildung 11: Stadtklima *(Nach Hutter, 1988)*

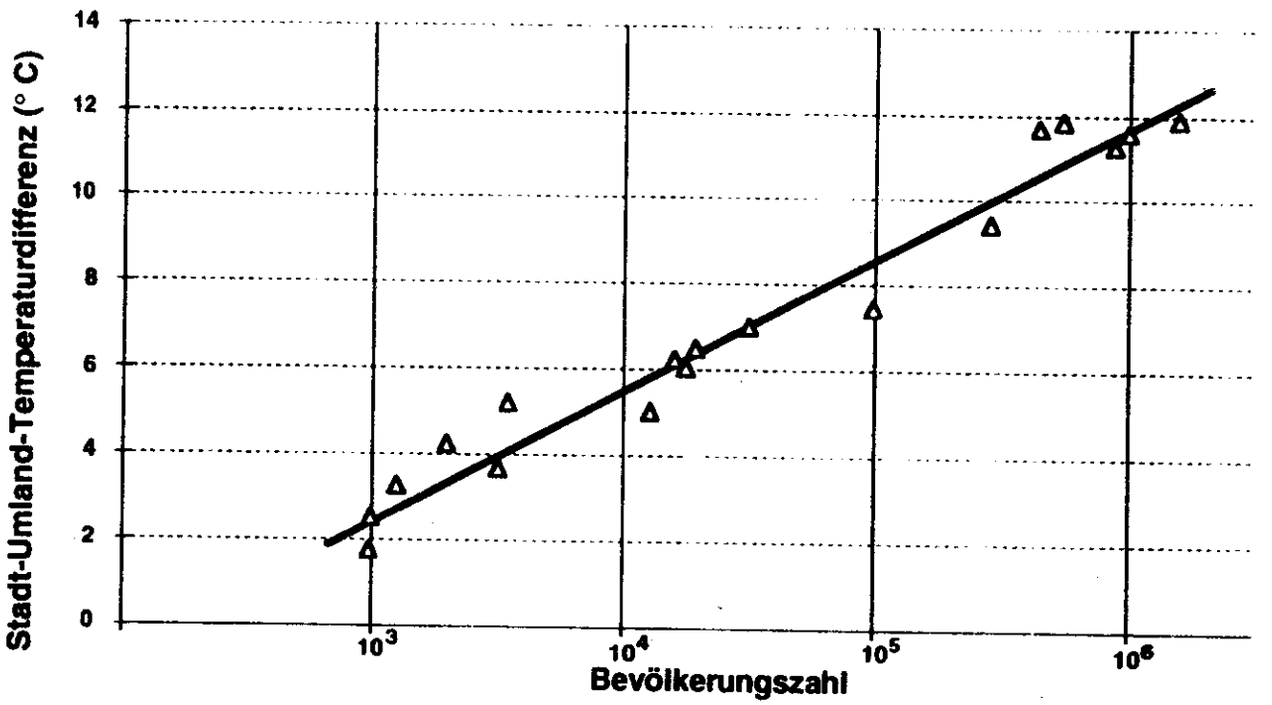


Abbildung 12: Zusammenhang zwischen Stadt-Umland Temperaturdifferenz und städtischer Bevölkerungszahl
(Nach Changnon, 1992)

urbanen Raumes ist, desto größer erweist sich der Unterschied zwischen städtischem und ländlichem Temperaturniveau, wie nachfolgendes Streuungsdiagramm (Abbildung 12) verdeutlicht.

Die globalen Umweltauswirkungen der Urbanisierung betreffen vielmehr in erster Linie den Bereich der Anthroposphäre mit Auswirkungen auf die Natursphäre. Wie bereits mehrfach festgestellt: Der Mensch ist zugleich Verursacher und Betroffener globaler Umweltveränderungen.

Zur Jahrtausendwende wird etwa die Hälfte der Erdbevölkerung in Städten leben, was bedeutet, daß etwa 3 Mrd. Menschen zu urbanen Umweltveränderungen beitragen und auch von diesen betroffen sein werden. Somit erhalten scheinbar lokal bzw. regional begrenzte Umweltveränderungen globale Relevanz.

Der Mensch ist in vielfacher Hinsicht Opfer seines eigenen Handelns. Dabei ist der ökologische Notstand das jüngste der sichtbar gewordenen Probleme der Megastädte. Er offenbart sich in der Luft- und Wasserverschmutzung jenseits aller normierten Grenzwerte, in der Lärmemission, der Bodenversiegelung und nicht zuletzt in wuchernden Müllhalden.

Veraltete und schlecht gewartete Kraftfahrzeuge lassen den Blei- und Rußgehalt in der Luft weit über das technisch notwendige Maß ansteigen. So liegt beispielsweise in Lima die Luftverschmutzung um 200 % über dem international akzeptierten Niveau. Fehlende und hoffnungslos überlastete Entsorgungssysteme zwingen die Bewohner dazu, ihren Abfall unkontrolliert unter freiem Himmel zu verbrennen, wodurch große Mengen toxischer Gase freigesetzt werden (Otterbein, 1991).

Ungeklärte, in Flüsse eingeleitete Abwässer schränken die Tauglichkeit des Flußwassers für den Einsatz in der landwirtschaftlichen Produktion und der Trinkwasserversorgung in erheblichem Maße ein. Der steigende Trinkwasserbedarf in den schnell wachsenden Städten hat zur Folge, daß die Kapazitäten der vorhandenen Brunnen nicht mehr ausreichen. Der Bau neuer, immer tieferer Brunnen führt zu einer Absenkung des Grundwasserspiegels und in der Folge zu einer Versteppung von Landschaften und auch zu einer massiven Einsturzgefährdung der oftmals maroden Bausubstanz, insbesondere in den peripheren Gebieten der Großstädte.

Durch die vollständige und unkontrollierte Abholzung der Wälder in den Randzonen der Städte verringert sich großflächig die Sauerstoffproduktion und die Wasserverdunstung; hierdurch wird die globale Erwärmung forciert. In Verbindung mit der hohen Konzentration vor allem der verkehrsbedingten Emissionen, die in Mexico-City nahezu 80 % der gesamten Luftschadstoffe ausmachen, kommt es zu einer massiven Gesundheitsgefährdung der Be-

völkerung. Mindestens 50.000 Sterbefälle jährlich sind in dieser Megastadt auf die Folgen des Smogs zurückzuführen. Insgesamt liegt das Maß der Luftverschmutzung in Mexico-City um den Faktor sechs höher als das für den Menschen als erträglich festgelegte Maß (Schteingart, 1991). 90 % aller Erkrankungen der Atemwege, unter denen die Stadtbevölkerung zu leiden hat, sind diesem Mißstand zuzuschreiben.

Durch die massive Konzentration menschlichen Handelns in den urbanen Räumen nehmen die Umweltveränderunegn in quantitativer wie qualitativer Hinsicht extreme Formen an. Alle Umweltkompartimente sind einer weit überdurchschnittlichen Belastung ausgesetzt, die sich unter synergetischen Gesichtspunkten oftmals verstärken bzw. in einen Kreislauf der Selbstzerstörung münden. In dieser Hinsicht spielt zweifellos auch die Bevölkerungsdichte eine bedeutsame Rolle. Es ist leicht nachvollziehbar, daß Verdichtungsräume mit ca. 4.000 Einwohnern je km^2 wie Berlin oder München quantitativ und qualitativ sehr viel größere Umweltveränderungen hervorrufen als ländlich geprägte Regionen wie z.B. das Allgäu mit etwa 90 Einwohnern je km^2. In Megastädten wie Kairo leben bis zu *29.000* und in Kalkutta sogar bis zu *88.000* Menschen auf einem Quadratkilometer (UNDP, 1992) und belasten die Umweltkompartimente in extremster Form. Exemplarisch sei hier die Luftverschmutzung Neu-Delhis angeführt, die für einen Rückgang der Ernteerträge des Umlandes von 30 % verantwortlich gemacht wird (Otterbein, 1991). Der Rückgang kann - momentan noch - durch den Einsatz zusätzlicher Düngemittel und Pestizide bzw. weitere Umwandlung von Waldarealen in landwirtschaftliche Produktionsflächen kompensiert werden.

Zusammenfassend läßt sich feststellen:

- Bevölkerungswachstum bedeutet hauptsächlich Wachstum von städtischen Agglomerationen;
- je mehr Menschen in einer Stadt leben, umso stärkere negative Auswirkungen sind für die Umwelt zu erwarten;
- je höher die Zunahme der Stadtbevölkerung pro Jahr ist, umso geringer sind die städtischen bzw. staatlichen Möglichkeiten, die Grundversorgung und insbesondere die Entsorgung zu garantieren, und umso höher wird die Wahrscheinlichkeit, daß städtische Systeme kollabieren;
- je deutlicher "Verfallserscheinungen" von Städten "fühlbar" werden, umso stärker wird der Abwanderungsdruck.

Verknüpfung zum globalen Wandel

Bevölkerungswachstum, zunehmende Migration und sich verstärkende Urbanisierungsprozesse sind die größte Herausforderung globaler Veränderungen. Beispielhaft wird nochmals auf die *speziellen* Auswirkungen der Bevölkerungszunahme und -verteilung hingewiesen.

Atmosphäre

Das Bevölkerungswachstum ist in entscheidendem Maße für die Erzeugung von Treibhausgasen verantwortlich. In Afrika sind beispielweise 68 % des CO_2-Anstiegs auf das Bevölkerungswachstum zurückzuführen; in Brasilien sind es sogar 76 %. Das Bevölkerungswachstum ist darüber hinaus für 69 % des Zuwachses an Viehbeständen verantwortlich. Die damit verbundene Erhöhung des Methangasausstoßes führt zu einer weiteren globalen Erwärmung und zu einem verstärkten Ozonabbau. Die fortschreitende globale Erwärmung wiederum kann zu einem Anstieg des Meeresspiegels führen. Dadurch würden z. B. 16 % der Bevölkerung Ägyptens und 10 % der Bevölkerung von Bangladesch zu Umweltflüchtlingen werden (DGVN, 1992a).

Wasser

Durch das Bevölkerungswachstum steigt der Wasserverbrauch für die Landwirtschaft, für die Industrie- und Energieproduktion sowie für den privaten Verbrauch. Der erhöhte Bedarf wird eine massive Wasserknappheit zur Folge haben (die mittlerweile in vielen Teilen der Erde zu registrieren ist), mit der u. a. eine Absenkung des Grundwasserspiegels in vielen Regionen verbunden sein wird. Die Anzahl der von Wasserversorgungsproblemen betroffenen Menschen könnte bis zum Jahr 2025 bis zu 1,1 Mrd. betragen (DGVN, 1992a).

In den Städten können die ständig zunehmenden Abwassermengen nicht mehr in ausreichendem Maße geklärt werden. Unzureichend geklärtes Wasser stellt jedoch eine gesundheitliche Gefahr für alle Lebewesen dar. In der landwirtschaftlichen Produktion gefährdet der Einsatz chemischer Düngemittel zur Ertragssteigerung Grundwasser und Oberflächengewässer. Starke Algenvermehrung deutet darauf hin, daß zuviel Düngemittel und Phosphate ins Wasser gelangen.

Böden

Das hohe Bevölkerungswachstum führt (z. B. durch Waldrodung) zu einer weiteren Ausdehnung der Landwirtschaftsflächen. Dennoch werden im Jahr 2050 etwa 50 % weniger (dann nur noch 0,15 ha) Anbaufläche pro Person zur Verfügung stehen, da die Ausdehnung der Landwirtschaftsflächen nicht mit dem Bevölkerungswachstum Schritt halten kann (DGVN, 1992a).

Überweidung, landwirtschaftliche Überbeanspruchung des Bodens durch Verkürzung der Brachzeiten und langanhaltende Trockenperioden schwächen zunächst die Vegetation. Der dadurch ungeschützte Boden verweht und verkrustet. Niederschläge können nicht mehr versickern, sondern fließen in Rinnen ab. Dadurch kommt es zu massiven Erosionserscheinungen (z. T. auch Überschwemmungen). Der Boden verliert seine Fruchtbarkeit. Durch Rodung von Waldarealen versucht man, den entstandenen Mangel an landwirtschaftli-

cher Nutzfläche zu kompensieren. Dieser Prozeß wiederholt sich, bis letztlich eine Wüstenbildung einsetzt und Migrationsdruck entsteht.

Bereits 1975 konnte in vielen Ländern die Ernährung aus eigener Produktion nicht mehr sichergestellt werden. Bei diesen Ländern handelt es sich vorwiegend um Entwicklungsländer, die ohnehin einen großen Anteil an Grenzertragsböden aufweisen. Langfristig wird in diesen Ländern nur 1/3 der Bevölkerung durch eigene Landwirtschaftsproduktion ernährt werden können (DGVN, 1992a).

Der Flächenbedarf für nicht landwirtschaftliche Zwecke wird ebenfalls erhebliche Ausmaße annehmen. Für Wohnen, Produktion von Gütern und Dienstleistungen sowie infrastrukturelle Einrichtungen werden allein in den Entwicklungsländern bis zum Jahr 2050 etwa 2,75 Mio. km^2 Nutzfläche benötigt. Weltweit ist mit einem zusätzlichen Flächenverbrauch von 4,5 Mio. km^2 und entsprechenden Versiegelungseffekten zu rechnen (DGVN, 1992a).

Biologische Vielfalt

Wenn die natürlichen Lebensräume schrumpfen und zerstückelt werden, verringert sich auch die Vielfalt der in ihnen lebenden Arten. Seit 1900 ist vermutlich die Hälfte der Feuchtgebiete der Erde aufgrund menschlicher Eingriffe durch Trockenlegung für die landwirtschaftliche Nutzung, durch Abholzung für die forstwirtschaftliche Nutzung und für den Ausbau der Städte vernichtet worden. Statistisch gesehen gibt es einen eindeutigen Zusammenhang zwischen der Bevölkerungsdichte (als Funktion des Bevölkerungswachstums) und dem Verlust natürlicher Lebensräume. Je höher die Bevölkerungsdichte ist, desto höher ist auch der Verlust an natürlichen Lebensräumen.

Durch die befürchtete globale Erwärmung und den dadurch verursachten Anstieg des Meeresspiegels werden Migrationen ausgelöst, die eine Verschiebung der Grenzen menschlicher Landnutzung in Richtung der Pole und in höhere Regionen erwarten lassen. Dort lebende Pflanzen und Tiere sind somit ebenfalls in ihrer Existenz gefährdet.

Wirtschaftliche Entwicklung

Mehr als zwei Jahrzehnte lang war der Zusammenhang von Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum immer wieder Gegenstand heftiger Kontroversen. Einerseits wurde das Bevölkerungswachstum als das größte Hindernis für den wirtschaftlichen Fortschritt angesehen. Andererseits wurde die Auffassung vertreten, daß das Bevölkerungswachstum für ein langfristiges Wirtschaftswachstum von großem Nutzen sei.

Tatsächlich ließ sich in den Industrienationen bis heute kein Zusammenhang zwischen Bevölkerungswachstum und wirtschaftlicher Entwicklung nachweisen. In den Entwicklungsländern dagegen, die 97 % des zukünftigen Bevölke-

rungswachstums auf sich vereinigen, kann man seit 1975 eine negative Korrelation zwischen Bevölkerungswachstum und Pro-Kopf-Einkommen als einem der Indikatoren für das Wirtschaftswachstum feststellen, wie der Weltbevölkerungsbericht von 1992 (DGVN, 1992a) bestätigt.

Das hohe Bevölkerungswachstum wirkt sich beispielsweise negativ auf die schulische Bildung in den Entwicklungsländern aus. Da in diesen Ländern nur sehr begrenzte finanzielle Mittel für Bildungseinrichtungen zur Verfügung gestellt und kaum neue Kapazitäten geschaffen werden können, sind die bestehenden Bildungseinrichtungen mit einer ständig steigenden Nachfrage nach Bildung konfrontiert. Dadurch verschlechtert sich zwangsläufig die Qualität der Ausbildung. Für viele Menschen stehen Bildungseinrichtungen erst gar nicht zur Verfügung. Dies gilt insbesondere für Frauen.

Statistisch gesehen ist jedoch ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Bildungsstand und wirtschaftlicher Entwicklung eines Landes vorhanden. Je länger die durchschnittliche Ausbildung, desto stärker ist das Wirtschaftswachstum. Ein ähnlich positiver Zusammenhang ergibt sich auch für die Komponenten Bildung und landwirtschaftliche Produktion, d.h. je besser und damit statistisch gesehen je länger die schulische Ausbildung ist, desto höher sind in der Regel die Ernteerträge pro Hektar Anbaufläche. Die Qualitätsminderung der Ausbildung verringert das wirtschaftliche Wachstum mit der Folge steigender Armut und den damit verbundenen Mangelerscheinungen.

Handlungsbedarf

Die Weltbevölkerungszahl erweist sich als die entscheidende Determinante bei der Bewältigung der Aufgaben von Umwelt und Entwicklung. Je höher das Bevölkerungswachstum, umso geringer ist die Chance, für Umwelt- und Entwicklungsprobleme gleichzeitig Lösungen anbieten zu können. Unkontrollierbar verlaufende Migrations- und Urbanisierungsprozesse erschweren diese Aufgabe beträchtlich. Daraus ergeben sich folgende Zielsetzun–gen für den Bereich Bevölkerungsentwicklung und -verteilung:

- langfristige Stabilisierung der Bevölkerungszahl;
- Verhinderung bzw. Reduzierung von erzwungenen Migrationen;
- Schaffung von tragfähigen städtischen Strukturen.

Wie mehrfach betont, existiert in allen Bereichen ein unmittelbarer, akuter Handlungsbedarf, der in Grundzügen bereits in der Rio-Deklaration und speziell in der AGENDA 21 (Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro, 1992) dokumentiert wird:

- Bevölkerungsentwicklung:
  Reduktion der Ursachen von Bevölkerungswachstum durch
  - Bekämpfung der Armut;

  - Gleichstellung der Frauen durch Verbesserung des Zugangs zu Bildungssystemen und zum Berufsleben;
  - Anerkennung des Rechtes auf Familienplanung als individuelles Menschenrecht;
  - Verbesserung der Möglichkeiten zur Familienplanung;
  - Reduktion der Kindersterblichkeit;
  - Verbesserung der Ausbildung.
- Migrationen:
  - Verminderung des Wanderungsdrucks;
  - internationale Koordination von internationalen Wanderungsbewegungen;
- Urbanisierung:
  - international koordinierte Raumordnungspolitik;
  - Konkretisierung raumordnerischer Leitbilder, die eine Harmonisierung von "Umwelt und Entwicklung" zulassen; z.B. durch eine ausgewogene Mischung von Nutzungsstrukturen innerhalb der Städte (Kap. 7 der AGENDA 21) oder durch den Erhalt und die Entwicklung ausreichender innerstädtischer Grün- und Freiflächen (Kap. 6 der AGENDA 21);
  - Schaffung von polyzentrischen an Stelle von monozentrischen Raumnutzungsstrukturen (Kap. 7.19 - 7.22 der AGENDA 21);
  - Technologietransfer zur Vermeidung oder Reduktion von Emissionen und Abfällen in städtischen Verdichtungsräumen.

Fragt man angesichts dieses Handlungsbedarfs nach tatsächlichen Handlungsmöglichkeiten, so fällt auf, daß eine *dauerhafte* Stabilisierung der Weltbevölkerungszahl, eine Verminderung des Wanderungsdrucks sowie eine Vermeidung von unkontrollierten Urbanisierungsprozessen nur zu erreichen sein werden, wenn Entwicklungsprobleme (z.B. Bekämpfung der Armut) und Umweltprobleme (z.B. Wasserverschmutzung) bewältigt sind.

Die Bewältigung der Bevölkerungsproblematik setzt langfristig die Lösung von Umwelt- und Entwicklungsproblemen voraus, die ihrerseits durch Bevölkerungswachstum, Migration und Urbanisierung zunehmend erschwert wird. Dieser "Teufelskreis" schränkt die Handlungsmöglichkeiten zu einer *kurzfristig* wirkenden Beeinflussung der Bevölkerungsentwicklung in starkem Maße ein. Staatliche Zwangsmaßnahmen wie "Bestrafung" hoher Geburtenzahlen können nach Auffassung des Beirates nicht zuletzt aus ethischen Gründen nicht in Betracht gezogen werden. Erfolgversprechende Bevölkerungspolitik muß deshalb vorwiegend bei der Beeinflussung der individuellen Familienplanung ansetzen:

- durch Bekämpfung der Ursachen für hohe Geburtenzahlen
- durch Aufklärung über Methoden und zur Verfügungstellung entsprechender Mittel zur Geburtenregulierung.

Im Bewußtsein, daß hiermit äußerst sensible, durch kulturelle und religiöse Überzeugungen geprägte Bereiche berührt sind, betont der Beirat das individuelle Recht und die persönliche Verantwortung eines jeden Menschen, Fragen der Familienplanung autonom zu entscheiden. Die Umsetzung dieser Feststellung erfordert nicht nur die weltweite Anerkennung des Rechtes auf individuelle Familienplanung, sondern verpflichtet die *internationale Staatengemeinschaft* auch zur Schaffung von Möglichkeiten zur verantwortungsbewußten Ausübung dieses individuellen Rechtes.

Die internationale Gemeinschaft ist gefordert, da

- Bevölkerungsentwicklung ein zentrales Problem globalen Wandels ist;
- die globale Brisanz dieser Problematik zur Zeit in vielen Staaten noch unterschätzt wird;
- sich der Erfolg derartiger Maßnahmen erst langfristig einstellt und deshalb die Notwendigkeit des sofortigen Handelns bezweifelt wird;
- selbst der relativ bescheidene finanzielle Aufwand eines derartigen Programmes angesichts anderer Aufgaben (z.B. wirtschaftliche Entwicklung) auf nationaler Ebene vielfach nicht zur Verfügung gestellt wird.

Durch internationale Kooperation (Konventionen; Ansätze hierzu finden sich in der AGENDA 21, Kap. 2) und Finanzierungsprogramme sollte eine institutionelle Verankerung der Bevölkerungspolitik in allen Staaten sichergestellt werden, die derartige Programme in eigener, nationaler Verantwortung unter Berücksichtigung der jeweiligen Gegebenheiten und Sensibilitäten ermöglichen.

Der Beirat vertritt die Auffassung, daß die Bundesrepublik Deutschland (wie alle übrigen hochentwickelten Länder) ein besonderes Maß an Verantwortung zu übernehmen hat. Dieses ergibt sich unmittelbar und mittelbar aus:

- der Unterzeichnung der Rio-Deklaration und der AGENDA 21
- der Verpflichtung zu internationaler Solidarität;
- ihrer herausragenden Stellung innerhalb der internationalen Staatengemeinschaft;
- der unmittelbaren Betroffenheit durch den internationalen Wanderungsdruck;
- der Feststellung, daß die gegenwärtigen globalen Umweltveränderungen hauptsächlich auf Produktion und Verbrauch in den Industrieländern zurückzuführen sind und die Bewältigung dieser Probleme entscheidend von der Bevölkerungsentwicklung abhängt.

Gerade weil Maßnahmen der Bevölkerungspolitik erst langfristig Wirkungen zeitigen, ist *sofortiges* Handeln geboten. Auch bescheidene Erfolge bei der Reduzierung des Bevölkerungswachstums können wesentliche Beiträge für die Lösung der globalen Umwelt- und Entwicklungsprobleme leisten.

Neben der Initiierung, Beteiligung und Mitfinanzierung internationaler Programme im obigen Sinne muß nochmals die Schlüsselrolle der hochentwickelten Gesellschaften für Entwicklung und Transfer neuer Technologien betont werden. Da die Stabilisierung der Bevölkerungszahl kurzfristig nicht realisierbar ist und von der Lösung der Entwicklungs- und Umweltprobleme wesentlich beeinflußt wird, bietet eine auf die Gegebenheiten der Schwellen- und Entwicklungsländer ausgerichtete Technologiepolitik ein wesentliches Handlungspotential (siehe Kasten: Technologiebeispiele in drei Bereichen).

Forschungsbedarf

Die Erforschung sozio-ökonomischer Wechselwirkungen im Rahmen globaler Umweltveränderungen steht zumindest in Deutschland erst am Anfang. Dieser Tatbestand kommt in der Übersicht über deutsche Beteiligungen an internationalen wissenschaftlichen Programmen zum Ausdruck, die lediglich das Umweltforschungsprogramm "Human Dimensions of Global Environmental Change" des International Social Science Council (ISSC) als sozio-ökonomischen Forschungsschwerpunkt ausweist (BMFT, 1992).

In dieser Hinsicht sieht der Beirat ein erhebliches Ungleichgewicht zwischen natursphärischer und anthroposphärischer Forschungsarbeit. Es bedarf aufgrund der außerordentlichen Bedeutung sozio-ökonomischer Faktoren - wie etwa der Bevölkerungsentwicklung und -verteilung - im Hinblick auf globale Umweltauswirkungen dringend eines Ausgleichs.

Die Untersuchung des Systems Mensch-Gesellschaft-Umwelt gehört für den Themenbereich "Bevölkerungswachstum, -migration und Urbanisierung" zu den entscheidenden Fragen nach den Grenzen der Belastbarkeit bzw. Tragfähigkeit der Umwelt. In dieser Hinsicht weist die Informationsbasis zur Zeit noch zu viele Lücken auf, um verläßliche Aussagen darüber zu treffen, wie sich infolge des hohen Bevölkerungswachstums z. B. der personenbezogene Verbrauch an endlichen und erneuerbaren Ressourcen langfristig entwickeln wird. Demzufolge läßt sich zur Zeit nicht verläßlich prognostizieren, mit welchem quantitativen bzw. qualitativen Ausmaß an lokalen, regionalen und globalen Umweltbelastungen künftig zu rechnen ist. Ebenso fehlen derzeit geeignete Informationen über den Einsatz neuer, umweltschonender Technologien sowie über die Erfolgsaussichten einer Internalisierung der externen Kosten der Nutzung von Umweltressourcen. Schließlich ist nicht abschätzbar, inwieweit sich individuelle und gesellschaftliche Verhaltensmuster im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung ändern werden und welchen Einfluß politische Strukturen in diesem Zusammenhang ausüben.

Über die Erhebung umweltrelevanter Daten und die Entwicklung entsprechender Datenbanken im natur- und sozialwissenschaftlichen Bereich hinaus, die bereits in Kapitel 35 der AGENDA 21 eingefordert werden, müssen Erklärungszusammenhänge analysiert werden, die dem Mensch-Gesellschaft-

Umwelt-System immanent sind. Ein derartiges Vorgehen erfordert neben einer entsprechenden Institutionalisierung der Forschung in erster Linie die Entwicklung innovativer Analyse- und Prognoseverfahren, mit deren Hilfe auch anthropogene Einflüsse berücksichtigt werden können.

Der konzeptionelle Ansatz des Statistischen Bundesamtes in bezug auf eine *umweltökonomische Gesamtrechnung* ist in dieser Hinsicht richtungsweisend. Derartige Verfahren, die nach einer Anpassung an die jeweiligen Rahmenbedingungen auch auf andere Volkswirtschaften zu übertragen sind, bieten zumindest die Möglichkeit einer kostenorientierten Bewertung von Umweltauswirkungen und können Grundlage für den gezielten Einsatz umweltpolitischer Instrumente sein.

Auf internationaler bzw. globaler Ebene könnte somit ein Ausbau harmonisch aufeinander abgestimmter, wissenschaftlicher Datenbanken erfolgen, der auch die Möglichkeit der Errichtung globaler Netzwerke zum schnellen Datenaustausch eröffnet und der internationalen Gemeinschaft ein rasches und gezieltes Reagieren auf erkannte Mißstände erlaubt.

Forschungsgebiet Bevölkerungswachstum

- ❑ Analyse der dem Mensch-Gesellschaft-Umwelt-System immanenten Erklärungszusammenhänge
- ❑ Gleichgewichtung natursphärischer und anthroposphärischer Forschungsarbeit
- ❑ Entwicklung von Systemen zur Tragfähigkeitsberechnung (Grenzbelastbarkeit)
- ❑ Systematische Erfassung des evidenten und potentiellen personenbezogenen Verbrauchs an endlichen und erneuerbaren Ressourcen
- ❑ Prognosemodelle hinsichtlich zukünftiger Umweltbelastungen
- ❑ Erfassung verfügbarer und bereits angewandter umweltschonender Technologien
- ❑ Entwicklung und Operationalisierung von Möglichkeiten zur Internalisierung externer Kosten an der Nutzung von Umweltressourcen
- ❑ Erforschung des Einflusses individueller und gesellschaftlicher Verhaltensmuster sowie politischer Strukturen auf globale Umweltveränderungen
- ❑ Entwicklung innovativer Analyse- und Prognoseverfahren, mit deren Hilfe anthropogene Einflußgrößen berücksichtigt werden können (z.B. umweltökonomische Gesamtrechnung)
- ❑ Untersuchung der technischen, institutionellen und finanziellen Rahmenbedingungen für den Technologietransfer
- ❑ Harmonisierung wissenschaftlicher Datenbanken und globaler Netzwerke für ein rasches und gezieltes Reagieren auf erkannte Mißstände

Forschungsgebiet Migrationen

- ❑ Entwicklung von Analyse- und Prognosemethoden für internationale Wanderungen
- ❑ Qualifizierung und Quantifizierung von Wanderungsdruckfaktoren
- ❑ Qualifizierung und Quantifizierung von Wanderungssogfaktoren

Forschungsgebiet Urbanisierung

- ❑ Erforschung einer "optimalen Stadtgröße"; Erfassung und Bewertung von Tragfähigkeitsdeterminanten urbaner Strukturen; Lokalisierung, Qualifizierung und Quantifizierung der Verstädterung in bezug auf globale Umweltveränderungen
- ❑ Bestimmung von Umweltauswirkungen von Städten in Abhängigkeit von der Einwohnerzahl
- ❑ Entwicklung von Technologien für integrierte Lösungen im Hinblick auf Umwelt und Entwicklung in urbanen Räumen

2.2 Veränderungen in der Wirtschaft

Einleitung

Definitorische Vorbemerkungen

Unter den Ursachen des globalen Wandels wird dem wirtschaftlichen Tätigwerden des Menschen bzw. dem Wirtschaftswachstum besondere Bedeutung zugemessen. Auch der Beirat teilt diese Auffassung und stellt darum die Wirtschaft neben dem Bevölkerungswachstum als wichtigstes, aber sehr komplexes Verursachungssystem in besonderer Weise in den Mittelpunkt seiner Betrachtungen.

Um dieses wirtschaftliche Tätigwerden des Menschen verstehen und seine gewaltige Dynamik besser begreifen zu können, muß man zunächst konstatieren, daß wirtschaftliches Handeln zuallererst Reagieren auf Engpässe im natürlichen Umweltsystem war und darum den bewußten Versuch des Menschen darstellte, diese Engpaßerfahrung durch Ausweitung seines materiellen Handlungsspielraums zu überwinden. Angesichts der Armut und des Hungers weiter Teile der Weltbevölkerung - in der zweiten Hälfte der 80er Jahre lebten immer noch über eine Milliarde Menschen von weniger als 370 US-$ jährlich und waren damit gemäß dem Weltentwicklungsbericht arm (Weltbank, 1990; Walton, 1990) - gilt dieser Grund für wirtschaftliches Handeln bzw. für die Forderung nach wirtschaftlichem Wachstum auch heute noch für weite Teile der Weltbevölkerung. Neuere Untersuchungen für 1990 zeigen, daß sich die Zahl der von Armut betroffenen Menschen eher noch vergrößert als verringert hat (UNDP, 1992) und heute bei etwa 1,1 Mrd. liegt (Weltbank, 1992a). Wirtschaftliches Reagieren ist für diese Menschen eine Überlebensfrage. Die Forderung nach Änderung des wirtschaftlichen Wachstums aus längerfristigen Umweltüberlegungen wird darum dort kaum Gehör finden.

Letzteres gilt vor allem dann, wenn - wie bereits bei der ersten Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung 1972 in Stockholm hervorgehoben wurde - Armut zunächst einmal selbst Ursache für viele Umweltprobleme ist, da sie Menschen zwingt, ihre natürlichen Ressourcen über ein nachhaltiges Maß hinaus auszubeuten, und - wie gerade der neueste Weltbankbericht (Weltbank, 1992a) an vielen Beispielen belegt - wirtschaftliches Wachstum und eine Steigerung der Effizienz der Ressourcenausnutzung Hand in Hand gehen. Aber auch in den Industrieländern vermag wirtschaftliches Wachstum umweltpolitisch erwünschte Nebeneffekte zu erzeugen, wenn Wachstum Investitionen auslöst und über den kapitalgebundenen technischen Fortschritt der technische Umweltschutz vorangetrieben wird.

Und noch ein weiteres ist hervorzuheben. Wirtschaftliches Handeln ist häufig mehr als Reagieren auf existentielle Engpaßerfahrung, die Wertschöpfungsaktivitäten sind vielmehr auch, was für das Verständnis der Wachstumsdynamik von zentraler Bedeutung ist, Ausdruck eines dem Menschen innewohnenden "Grundbedarfs" nach Überwindung von Endlichkeit bzw. Abhän-

gigkeit selbst. Wirtschaftliches Handeln kann darum auch als Implikation eines tiefer sitzenden Freiheitsstrebens interpretiert werden. Dies macht es so schwer, Urteile über die Angemessenheit eines Konsums bzw. einer Wohlstandsvorstellung abzugeben, oder mit Blick auf die hochentwickelten Nationen vorschnell von "Verschwendungsgesellschaften" zu sprechen.

Schließlich gilt, daß gesellschaftliche und globale Verteilungskonflikte bei wirtschaftlichem Wachstum in der Regel einfacher zu lösen sind als ohne Wachstum bzw. ein großer Teil der bisher praktizierten Sozialpolitik hochentwickelter Nationen ohne wirtschaftliches Wachstum nicht mehr realisierbar ist. So baut die mittelfristige Finanzplanung der Bundesrepublik Deutschlands, der gegenwärtig diskutierte Sozialpakt oder das institutionalisierte System der gesetzlichen Alterssicherung auf das Vorhandensein von Wirtschaftswachstum auf und werden auch die großräumigen Wohlstandsprobleme des wiedervereinigten Deutschlands ohne Wirtschaftswachstum wohl kaum zu bewältigen sein. Noch gravierender sind aber im Vergleich hierzu die Implikationen der globalen Wohlstandsdisparitäten. Recht eindrucksvoll wird dies im neuesten "Human Development Report 1992" des UNDP (UNDP, 1992) sichtbar, wenn dieser pointiert darauf hinweist, daß die reichsten zwanzig Prozent der Weltbevölkerung gegenwärtig bereits ein über 150 mal höheres Einkommen erzielen als die ärmsten zwanzig Prozent und sich diese Disparität in den letzten zehn Jahren sogar noch verschärfte. Angesichts des zu erwartenden globalen Bevölkerungswachstums und seiner Konzentration auf die unterentwickelten Länder ist sogar zu befürchten, daß sich die Kluft zwischen den ärmsten und den reichsten Ländern dieser Welt künftighin noch weiter vertiefen wird.

Die in den protektionistischen Entwicklungstendenzen der meisten Industrieländer zum Vorschein kommenden "Verteilungsinteressen" lassen keine hohe "Bereitschaft zum Teilen" und damit für eine Lösung des Disparitätenproblems über eine Umverteilungspolitik erkennen. Hierfür spricht auch die Tatsache, daß das bereits 1972 in der ersten Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung von Stockholm geforderte Ziel, die Industrieländer sollten 0,7 % ihres Bruttosozialprodukts für die Entwicklungshilfe aufbringen, in den letzten zwanzig Jahren nur von den Niederlanden, Dänemark und anderen skandinavischen Ländern erfüllt wurde, die USA hingegen lediglich 0,19, Großbritannien 0,27 und die Bundesrepublik Deutschland 0,42 % erreichten (Abbasi, 1992). Legt man die vom UNCED-Sekretariat für eine umweltverträgliche Entwicklung der Entwicklungsländer als notwendig angesehene und von den Industrieländern mindestens jährlich zu erbringende Zuwendung von 125 Mrd. US-$ zugrunde, müßte dieser Beitrag der Industrieländer sogar schon bei 1 % ihres Bruttosozialprodukts liegen (Raghavan, 1992). Der Beirat schließt sich dieser Forderung, die als angemessen und notwendig erscheint, voll an. Dabei sollte der Bundesrepublik Deutschland aber die Hilfe für viele Staaten Osteuropas angerechnet werden, da diese Länder hinsichtlich ihrer wirtschaftlichen Gegebenheiten sowie der anste-

henden Umweltprobleme eine mit den Entwicklungsländern vergleichbare Situation aufweisen.

Wachstum und Entwicklung

Wirtschaftliches Wachstum und wirtschaftliche Entwicklung sind vieldeutige Begriffe, die der Klärung bedürfen. Die gegenwärtige Diskussion um die Grenzen des Wachstums leidet stark darunter, daß unterschiedliche Interpretationen des Wachstums- und Entwicklungsbegriffs existieren. Eine sehr vordergründige Sicht interpretiert Wirtschaftswachstum als laufende Vergrößerung der volkswirtschaftlichen Güterproduktion bei konstanten Strukturen. Unter Struktur wird hierbei das sektoral, regional und betriebsgrößenmäßige Erscheinungsbild einer Volkswirtschaft sowie die Gesamtheit der Produktionsverfahren, z.B. definiert über die Ressourcenintensität oder die Emissionskoeffizienten, verstanden.

Es ist jedoch notwendig, den Wandel von Wirtschaftsstrukturen in die Überlegungen einzubeziehen, denn in Abhängigkeit von den sich herausbildenden relativen Preisen werden die Nachfragepräferenzen entscheidend beeinflußt. Auch durch sonstige Rahmenbedingungen (etwa Herausbildung von Wirtschaftsräumen über eine politisch gewollte Integration, der institutionellen Ausgestaltung der Weltwirtschaftsordnung usw.) ändert sich das äußere und für die Umwelt relevante Erscheinungsbild der Wirtschaft laufend. Die globalen Umweltveränderungen sind somit nicht nur die Folge des jeweils erreichten Produktionsniveaus, sondern auch das Ergebnis seiner Struktur. Diese Strukturänderungen können, müssen aber keineswegs umweltentlastender Art sein. So beobachtet man einen seit geraumer Zeit andauernden Trend zur Globalisierung betrieblicher Absatz- und Beschaffungsmärkte und damit auch zur räumlichen Ausweitung und Intensivierung von Handelsbeziehungen, zur Internationalisierung und Tertiärisierung der Produktion sowie zur verstärkten zwischenbetrieblichen Arbeitsteilung ("lean production", "just-in-time production" usw.). Dies wirkt sich insbesondere auf den Energieverbrauch und die Emissionen des Verkehrsbereichs als zwei weiteren wichtigen Bestimmungsfaktoren der globalen Umweltveränderungen aus.

Über einen längeren Zeitraum hinweg betrachtet änderten und ändern sich des weiteren die Sektorenanteile an der volkswirtschaftlichen Wertschöpfung. Folgt man etwa der klassischen Drei-Sektoren-Hypothese (Fisher, 1939; Fourastié, 1954; Clark, 1960), so sind Länder wie die Bundesrepublik Deutschland seit geraumer Zeit im Begriff, Dienstleistungsgesellschaften zu werden. Manche sprechen von der nachindustriellen Gesellschaft (Touraine, 1971; Bell, 1973), wobei diese Entwicklung häufig mit der Hoffnung auf einen strukturwandlungsbedingten Umweltentlastungseffekt verbunden wird. Wie noch später zu zeigen ist, erweist sich die Hypothese von dem Umweltentlastungseffekt eines solchen Strukturwandels als keineswegs gesichert.

Diese eben aufgezeigten Wandlungsprozesse im Erscheinungsbild der Wirtschaft umschreibt man auch mit dem Begriff der Entwicklung. Der Entwicklungsbegriff steht hierbei jedoch nicht nur für die Erklärung von statistisch beobachtbaren und theoretisch erklärbaren (sektoralen, regionalen oder betriebsgrößenmäßigen) Strukturänderungen der Wirtschaft im Zeitablauf, sondern enthält auch über die engere ökonomische Dimension hinausgehende Inhalte. Folgt man etwa der neueren Diskussion (Pearce et al., 1990) zum Entwicklungsbegriff, so sollte dieser nicht nur

- die Erhöhung des realen Pro-Kopf-Einkommens, sondern auch
- die Verbesserung des Gesundheitszustandes und der Ernährungssituation,
- die Verbesserung des Bildungsstandes,
- den Zugang zu den Ressourcen,
- eine "faire" Einkommensverteilung und
- die Verwirklichung der Grundrechte

enthalten. Erste Versuche einer Operationalisierung liegen inzwischen vor. Relevant erscheinen vor allem die Arbeiten des United Nations Development Programme (UNDP), die sich seit geraumer Zeit intensiver mit dem Begriff des "sustainable development" auseinandersetzten. So wird im neuesten Human Development Report (UNDP, 1992) ein bereits im Human Developmet Report 1990 bzw. 1991 (UNDP, 1990 und 1991) vorgeschlagener *Human Development Index* (HDI) weiterentwickelt und um einen *Political Freedom Index* (PFI) ergänzt und weltweit berechnet. Legt man diesen HDI zugrunde, stehen gegenwärtig Kanada, Japan, Norwegen, die Schweiz und Schweden an der Spitze der Weltentwicklungstabelle, die Bundesrepublik Deutschland liegt auf Rang 12, Länder wie Afghanistan, Sierra Leone und Guinea nehmen die letzten Plätze ein.

Zusätzlich sollte auch der Umweltschutz ein wichtiger Bestandteil des Entwicklungsbegriffs werden. Insofern sollte der übliche Kriterienkatalog um Merkmale, die die Umweltbelastungen des Menschen sowie der natürlichen Umwelt berücksichtigen, ergänzt werden.

Bei einem derartig weit gefaßten Begriff der Entwicklung ist wirtschaftliches Wachstum eine Teilmenge davon. Auch wenn dem wirtschaftlichen Wachstum als Ansatzpunkt zur Armutsbekämpfung immer noch große Bedeutung zugemessen wird (so der Brundtland-Bericht, 1987; Weltentwicklungsberichte der Weltbank; Economic Outlook des IWF), plädiert der Beirat für einen derartigen Entwicklungsbegriff, dessen Operationalisierung jedoch noch aussteht.

Letzteres gilt, wie bereits an anderer Stelle gesagt wurde, auch für den Begriff "sustainable development". Dieser Begriff kann als "strategischer Imperativ" für ökonomisches Handeln zum Überleben der Menscheit in der Zukunft angesehen werden. Zu klären ist z.B., inwieweit dieser Begriff auch die Berücksichtigung sozialer und ökonomischer Belange (Sozial- und Ökonomieverträg-

lichkeit einer Entwicklung) erfordert, welche Zeithorizonte zu berücksichtigen sind, und welche Diskontierungsrate zugrundezulegen ist.

Wachstum und Marktwirtschaft

Wie die Evolutions- und Institutionenökonomie (Dopfer, 1992; Schenk, 1992; von Hayek, 1975 und 1981) aufzeigen kann, haben sich im Gefolge des wirtschaftlichen Handelns in einer Art gesellschaftlichem Lernprozeß vielfältige Regeln und Institutionen herausgebildet. Sie wirken auf das wirtschaftliche Verhalten der Menschen zurück und haben ihrerseits auch Einfluß auf die Umwelt. Die Marktwirtschaft ist ein an Effizienzkriterien ausgerichtetes privatwirtschaftlich und dezentral geprägtes Prinzip des Suchprozesses. Dieses ist ausgerichtet auf immer neuere und bessere Möglichkeiten der Ressourcenallokation, wobei die einzelwirtschaftlichen Planungen über möglichst wettbewerbsbestimmte Preise miteinander koordiniert werden. In diesen relativen Preisen konzentrieren sich somit vielfältige Informationen, die auch Einschätzungen über die Zukunft sowie wirtschaftsrelevante Umweltbedingungen miteinschließen, wenn es gelingt, die ökologische Knappheit in den Preisen zum Ausdruck zu bringen. Die Marktwirtschaft kann somit zur besseren Berücksichtigung von Umweltbelangen in den einzelwirtschaftlichen Planungen genutzt werden.

Das Preissystem fungiert als Vermittlungsmechanismus von Informationen und dient auch der individuellen Orientierung, wobei - was ein entscheidender Vorteil ist - an die Individuen recht geringe kognitive Anforderungen gestellt werden. Unter bestimmten Konstellationen - etwa bei Gütern mit Kollektivguteigenschaften, Informationsasymmetrien und externen Effekten bzw. bestimmten Marktstrukturgegebenheiten - kann es zu einem Markt- oder Wettbewerbsversagen kommen. Diese Fälle sind aber, wie die neuere Diskussion zeigt (Blankart, 1991, Eickhof, 1992), geringer als vielfach erwartet und haben zu einem beachtlichen Teil ihre Ursache in einem Staatsversagen (etwa unzureichende Zuweisung von Eigentumsrechten).

Grundsätzlich entfaltet dieses System der Marktwirtschaft zwar eine beachtliche Wachstumsdynamik, es ist aber im Gegensatz zu mancher Behauptung - falls die ökologischen Rahmenbedingungen dies erzwingen - im Prinzip auch mit dem Gedanken eines Null-Wachstums vereinbar. Wirtschaftswachstum ist nämlich das kaum vorhersehbare und darum auch kaum prognostizierbare Ergebnis einzelwirtschaftlicher Entscheidungen. Wenn die einzelnen Wirtschaftseinheiten bei ihrer Einschätzung der Handlungsbedingungen per Saldo zum Ergebnis gelangen würden, daß Wachstum einzelwirtschaftlich nicht mehr möglich ist, müßte sich dies als ein Einschwenken der Volkswirtschaft auf einen stationären Entwicklungspfad bemerkbar machen. Wenn es heute im politischen Raum der meisten hochentwickelten Länder eine ausgeprägte Präferenz für wirtschaftliches Wachstum gibt, ist diese darum weniger der Marktwirtschaft als solcher anzulasten. Vielmehr ist sie, wie bereits betont

wurde, Ausdruck der Tatsache, daß viele institutionelle Festlegungen dieser Staaten etwa im Bereich der sozialen Sicherung ohne wirtschaftliches Wachstum grundlegend in Frage gestellt werden müßten und demzufolge soziale Spannungen auslösen könnten, d.h. gesellschaftliche bzw. globale Verteilungskonflikte bei wirtschaftlichem Wachstum in der Regel einfacher zu lösen sind als ohne Wachstum.

Ursachen

Weltwirtschaftswachstum

Um die mit dem Wirtschaftswachstum verbundenen globalen Veränderungen besser analysieren, künftige Forschungsbedarfe bestimmen und Prioritätensetzungen bei den Handlungsbedarfen vornehmen zu können, sollte man nach Ansicht des Beirats unbedingt verschiedene Betrachtungsweisen unterscheiden:

1. Eine (hoch-)aggregierte Sicht, bei der primär vom Weltwirtschaftswachstum, und zwar unabhängig von seiner sektoralen und regionalen Ausprägung, als auslösendem Element der zu erklärenden globalen Umweltprobleme, ausgegangen wird,

2. eine regionale Betrachtungsweise, die stärker auf die Zusammenhänge zwischen der regionalen Verteilung dieses globalen Wachstumsprozesses und den hierdurch induzierten globalen bzw. regionalen Umweltbelastungen abstellt,

3. eine sektorale Sicht, die die Beziehungen zwischen den globalen bzw. regionalen Umweltaspekten und dem sie verursachenden sektoralen Strukturwandel der Weltwirtschaft bzw. ihrer Teilgebiete betont, sowie

4. eine anzustrebende Kombination dieser eben skizzierten regionalen und sektoralen Betrachtungsweisen, welche die Zusammenhänge zwischen dem Strukturwandel höher entwickelter Regionen und den strukturellen Änderungen unterentwickelter Gebiete und den hierdurch induzierten globalen bzw. regionalen Umwelteffekten, und zwar unter expliziter Berücksichtigung der sie beeinflussenden institutionellen Gegebenheiten, hervorhebt.

Die aggregierte Sichtweise, bei der zur Erklärung globaler Umweltprobleme primär von dem nicht weiter aufgegliederten Weltwirtschaftswachstum als der eigentlichen Verursachungsgröße ausgegangen wird, stand am Anfang der Konstruktion der ersten Weltmodelle (Meadows et al., 1972 und 1974; Forrester, 1971) und der durch sie ausgelösten Diskussion um mögliche Grenzen des Weltwirtschaftswachstums. Diese Modelle betrachten das globale Ökosystem

- als Ausgangspunkt und Quelle aller materiellen Stoffflüsse, die über einen Ressourcenabbau bzw. eine Ressourcennutzung (erneuerbare Ressourcen) dann
- als Inputs und Durchflußgrößen (throughputs) in das Teilsystem Wirtschaft eingehen, um dieses danach
- als "Abfälle" (inklusive Emissionen) zu verlassen, d.h. wiederum in das Ökosystem zurückkehren.

Ein derartiges wirtschaftliches Wachstum bedeutet Durchflußwachstum und wird dann zum Problem, wenn es bei begrenzter Substitutionsmöglichkeit der einzelnen Inputkategorien zur Erschöpfung endlicher Ressourcen kommt und/oder die Regenerations- oder Assimilationskapazität des globalen Ökosystems stark überfordert wird. Die Weltmodelle beschäftigen sich daher mit der Frage, ob sich derartig relevante Durchflußgrößen bzw. Engpaßsituationen bestimmen lassen.

Faßt man zusammen, so stehen bei den hochaggregierten Weltmodellen gegenwärtig mehrere Engpaßkomponenten im Vordergrund. Auf der Ressourcen- oder Inputseite sind dies

- die global begrenzte agrarisch bzw. landwirtschaftlich nutzbare Fläche, die vor allem die für die Ernährung relevante Biomasse zu produzieren hat, nicht substituiert werden kann und nach Auffassung mancher Experten (Vitousek, 1986; Daly, 1992) weitgehend ausgenutzt ist,

- damit in Zusammenhang stehend die Forderung nach Schutz weiter Teile der Erdoberfläche (Lebensraumerhaltung) für die Zwecke der Erhaltung der Artenvielfalt durch Blockade einer weiteren Expansion der Siedlungsflächen bzw. der landwirtschaftlich genutzten Flächen,

- des weiteren der zunehmend sichtbar werdende Wasserengpaß (Weltbank, 1992a) sowie

- teilweise noch der begrenzte Vorrat an fossilen Energieträgern. Es darf aber nicht verhehlt werden, daß man der These vom limitierenden Effekt begrenzter Energievorräte heute eher zurückhaltend begegnet.

Auf der Emissions- oder Abfallseite sind dies

- die begrenzte Aufnahmefähigkeit der Atmosphäre für die Treibhausgase (siehe 1.1.1), unter denen vor allem Kohlendioxid, Methan, Lachgas, sowie teilweise die Stickoxide im Vordergrund stehen (Enquete-Kommission, 1990),

- die emissionsbedingte Verdünnung der Ozonschicht (siehe 1.1.2), wobei die Aufmerksamkeit vor allem den Fluorchlorkohlenwasserstoffen gilt,

- die emissions- und bewirtschaftungsbedingte Bodendegradierung (siehe 1.4.), die längerfristig im Sinne der Reduktion der agrarisch nutzbaren Fläche und der Biotopvernichtung wirkt, sowie

- partiell die Wasserverschmutzung (siehe 1.3), die die natürliche Selbstreinigungskraft bestehender Gewässer überfordert.

Was die Engpässe der Emissions- oder Abfallseite betrifft, so rückten diese zwangsläufig die erneuerbaren Ressourcen in den Mittelpunkt der Betrachtung. Man wurde sich immer mehr bewußt, daß die natürliche Umwelt eine Art "Produktionssystem" darstellt, welches Güter produziert oder Leistungen (etwa Deponiefunktion) vorhält, die für den Menschen nützlich sind. Diese Leistungen werden ohne Tätigsein des Menschen spontan angeboten und in unserer volkswirtschaftlichen Buchhaltung trotz ihrer nutzenstiftenden Wirkung nicht ausreichend berücksichtigt (Klemmer, 1987). Die Güter dieses nicht explizit vom Menschen gestalteten, sondern sich spontan entwickelnden und in starkem Maße am Recycling-Prinzip orientierten natürlichen "Produktionssystems" werden in der Regel als Produktions- bzw. Ertrags-, Regelungs-, Deponie- und Lebensraumleistungen interpretiert (SRU, 1985). Während in früheren Zeiten Entnahmen aus und Abgaben in die natürliche Umwelt von dieser aufgrund ihrer spontanen Leistungsfähigkeit weitgehend kompensiert wurden, besteht heute weitgehend Einigkeit darüber, daß in vielen Bereichen die Leistungsfähigkeit des natürlichen Produktionssystems in Frage gestellt ist. Unterstellt man hierbei eine komplementäre Beziehung zwischen dem natürlichen und dem künstlichen Produktionssystem der Wirtschaft, geht man mit anderen Worten davon aus, daß das ökologische Realkapital nicht durch ein vom Menschen geschaffenes "künstliches" Realkapital ersetzt werden kann, können sich theoretisch Engpaßeffekte ergeben, die das längerfristige Wirtschaften durchaus in Frage zu stellen vermögen. Fällt die Leistungsfähigkeit des natürlichen Produktionssystems nämlich aus - und das ist die Grundbotschaft der meisten Weltmodelle -, kann es zu einem Leistungszusammenbruch mit irreversiblen Folgen, d.h. z.B. zu einem möglichen neuen ökologischen Gleichgewicht, aber auf deutlich niedrigerem ökologischen Tragfähigkeitsniveau als bisher, kommen. Dies würde letztlich einen gesellschaftlichen Wohlstandsverlust implizieren.

Bei einer solchen Betrachtungsweise liegt die Frage nahe, bis zu welchem Grad das Ökosystem mit Entnahmen, aber vor allem mit Emissionen (Abfällen) belastet werden kann, ohne daß es seine spontane Leistungsfähigkeit verliert. Damit wird zwangsläufig die Frage nach jenem Wachstums- oder Entwicklungspfad relevant, der noch als ökologisch tragfähig bzw. als dauerhaft oder nachhaltig realisierbar ("sustainable development") angesehen werden kann.

Die bisher verfügbaren, zumeist hochaggregierten "Weltmodelle" liefern zu dieser zentralen Frage eine Reihe wichtiger Hinweise, aber noch keine definitive Antwort. Solche Modelle versuchen, das System Erde als Ganzes zu betrachten und zu bilanzieren, inwiefern sich die wichtigsten Quellen und Senken als Folge von Energie- und Stoffströmen verändern. Dabei konnte insbesondere gezeigt werden, daß ein exponentielles Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum keine zukunftsfähige Entwicklung darstellt (Meadows, 1974; Meadows et al., 1991)

Während frühere Weltmodelle die globale Umweltproblematik nur unzureichend berücksichtigten, rückt eine neue Generation von "Integrierten Modellen" das Zusammenspiel von Umwelt und Entwicklung in den Mittelpunkt der Analyse ("World 4", persönliche Mitteilung von Meadows; "IMAGE 2" (Rotmans, 1990)). Dabei wird auch der Versuch einer höheren geographischen Auflösung, also einer "Regionalisierung" der ökonomisch-ökologischen Wechselwirkungen auf diesem Planeten, unternommen. Inwieweit es darüber hinaus gelingen kann, innovatorische Prozesse sowie preis- oder einkommensinduzierte Verhaltensänderungen angemessen einzubeziehen, bleibt noch offen.

Die heute existierenden Modelle können im wesentlichen zweierlei leisten:

1. Ausloten der Konsequenzen unterschiedlicher längerfristiger Szenarien im Sinne möglicher, aber nicht vorhersagbarer zukünftiger Entwicklungen.

2. Kurzfristige Prognose der globalen Dynamik auf der Basis von fortgeschriebenen Trends und belegten bzw. vermuteten "Gesetzmäßigkeiten".

Häufig verwenden diese Modelle die Extrapolationen aus empirischen Studien - z.B. Wachstumserwartungen - als Inputgrößen oder orientieren sich an den aus Zielvorgaben - z.B. Sicherstellung einer Mindesternährung für die Bevölkerung in allen Regionen der Welt - abgeleiteten Parametern.

Mit Blick auf die Besonderheiten des Bereichs Wirtschaft können die Anforderungen an leistungsfähige "Weltmodelle" wie folgt zusammengefaßt werden:
Eine Regionalisierung und Sektoralisierung ist entschlossen voranzutreiben. Darüberhinaus erscheint aber auch eine Betrachtungsweise notwendig, welche die Lern- und Anpassungsfähigkeit sozialer Systeme sowie deren Selbstorganisationsprozesse besser berücksichtigt. Insbesondere muß das Phänomen der Herausbildung und Wirkung von Institutionen stärker durchleuchtet werden.

Die Regionalstruktur des Weltwirtschaftswachstums

Eine regionale Betrachtung des Weltwirtschaftswachstums als Ursache des globalen Wandels ist vor allem deswegen notwendig, weil

- bezüglich der eben angesprochenen "Leistungskraft" der natürlichen Umwelt gravierende regionale Unterschiede bestehen, die es nahelegen, von einem regional divergierenden Schutzwürdigkeitsprofil der Umweltgegebenheiten zu sprechen,

- in Abhängigkeit vom sozio-kulturellen Umfeld sowie dem erreichten wirtschaftlichen Wohlstand möglicherweise die Umweltpräferenzen der Menschen divergieren,

- vergleichbare wirtschaftliche Aktivitäten oder demographische Entwicklungsprozesse aufgrund regional divergierender Umweltgegebenheiten von Region zu Region unterschiedlich auf den globalen Wandel einwirken,

- großräumige Emissions-Immissions-Wirkungs-Verflechtungsbereiche bestehen, die eine räumliche Trennung von Verursachern und Betroffenen erkennen lassen und bezüglich der hierdurch induzierten Umweltprobleme zur umweltpolitischen Abstimmung internationale Vereinbarungen erfordern, und

- sich hinsichtlich der räumlichen Verteilung des globalen Wirtschaftswachstums und der durch dieses induzierten Wohlstandseffekte gravierende Unterschiede auftun, die das Umweltbewußtsein, die Bereitschaft zum umweltpolitischen Handeln sowie die umweltpolitischen Reaktionsmöglichkeiten beeinflussen und damit auch Konsequenzen für die politischen Handlungsempfehlungen haben.

Wie wichtig eine regionalisierte Betrachtung eines Entwicklungsprozesses ist, kann bereits anhand der Bevölkerungsentwicklung deutlich gemacht werden. So ist es z.B. für die Analyse der zu erwartenden Auswirkungen auf den globalen Wandel von entscheidender Bedeutung zu wissen, wie sich die gegenwärtig prognostizierte Zunahme der Weltbevölkerung von 3,7 Mrd. Menschen im Zeitraum von 1990 bis 2030 regional verteilen wird. Konzentriert sie sich z.B. auf Gebiete mit hoher Bevölkerungsdichte, werden die Urbanisierungsprobleme zunehmen, erfolgt sie in Gebieten mit begrenzt verwertbarer agrarischer Nutzfläche, kann eine Mobilisierung von Grenzböden mit nachfolgender Bodendegradierung oder eine irreversible Vernichtung ökologisch wertvoller Flächen stattfinden. Findet sie in unterentwickelten Gebieten statt, wird sich möglicherweise der wirtschaftliche Verelendungsprozeß beschleunigen, werden hingegen hochentwickelte Gebiete betroffen, kann sogar mit einer Beschleunigung des wirtschaftlichen Wachstums gerechnet werden. Angesichts

der Tatsache, daß sich dieser Bevölkerungszuwachs in der Tat regional sehr ungleich verteilen wird, muß eine räumlich differenzierte Betrachtung vorgenommen werden. So werden sich 90 % dieses Bevölkerungswachstums mit größter Wahrscheinlichkeit auf die Entwicklungsländer konzentrieren, wobei in den kommenden vier Jahrzehnten Schwarzafrika von 500 Mio. auf 1,5 Mrd. Menschen, die Bevölkerung Asiens von 3,1 Mrd. auf 5,1 Mrd. Menschen und die Lateinamerikas von 459 Mio. auf 750 Mio. ansteigen kann (Weltbank, 1992a; UNDP, 1992).

Bevölkerungsentwicklung und wirtschaftliches Wachstum verlaufen jedoch keineswegs parallel. Aus gleich näher zu belegenden Gründen ist vielmehr davon auszugehen, daß diese Prozesse räumlich auseinanderklaffen, woraus sich besondere globale Umweltprobleme ergeben. Um dies besser zu verdeutlichen, wird nachfolgend, unter Bezugnahme auf die umfangreichen Ergebnisse der Entwicklungsländerforschung, eine Ländergliederung vorgenommen, die die globalen Zusammenhänge, die in diesem Gutachten im Vordergrund stehen sollen, schärfer herausarbeitet und Grundlage politischer Empfehlungen werden kann. Grobe Unterscheidungsmerkmale sind hierbei die Bevölkerungsentwicklung und -dichte, der erreichte wirtschaftliche Wohlstand und die wirtschaftlichen Entwicklungsperspektiven, die global relevanten Interessenpositionen, die globalen Funktionen und die Durchsetzungsfähigkeit umweltpolitischer Maßnahmen. Danach könnte man unterscheiden:

1. Die hochentwickelten Länder bzw. ökonomischen Welt-Gravitationszentren

Annäherungsweise kann diese Gruppe durch der OECD-Mitglieder (der "Organization for Economic Cooperation and Development" gehören an: Australien, Belgien, Dänemark, die Bundesrepublik Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Großbritannien, Irland, Island, Italien, Japan, Kanada, Luxemburg, Neuseeland, die Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, die Schweiz, Spanien und die Vereinigten Staaten) charakterisiert werden. Unter globalen Überlegungen zählen sie sicherlich zu den Hauptemittenten von Schadstoffen und Treibhausgasen. Im Mittelpunkt dieser Gruppe stehen, vor allem wenn man an den Einfluß auf das Weltwirtschaftsgeschehen sowie die Rolle im Rahmen der UNCED-Konferenzen denkt, die G-7-Staaten (in alphabetischer Reihenfolge: Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Italien, Japan, Kanada und die USA), im engeren Sinne sogar nur die G-5-Staaten (Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Japan, und die USA). Insofern kommt Deutschland bei der Bewältigung globaler Umweltfragen besondere Bedeutung zu.

Diese Staaten stehen gegenwärtig im Mittelpunkt der nachfolgend noch näher beschriebenen Triadenbildung und heißen hochentwickelt, weil sie nicht nur über ein überdurchschnittlich hohes Pro-Kopf-Einkommen und in Abhängigkeit

hiervon über ein bereits ausgeprägtes gesellschaftliches und politisches Umweltbewußtsein verfügen, sondern in der Regel auch stabile politische Verhältnisse aufweisen, ein gut ausgebautes Umweltrecht besitzen, das aufgrund einer funktionsfähigen Verwaltung auch durchgesetzt werden kann (geringe Vollzugsdefizite), und sich aufgrund ihres Wohlstandes auch einen hochentwickelten technischen Umweltschutz (etwa gut ausgebaute Versorgungs- und Entsorgungsinfrastruktur) leisten können.

Auch ihre künftigen Wachstumsperspektiven können trotz aller gegenwärtigen Wirtschaftsprobleme als gut bezeichnet werden (UNDP, 1992). Es hat sich aber im Vorfeld der UNCED-Konferenz von Rio de Janeiro gezeigt, daß die G-5-Staaten wenig Neigung zeigen, sich auf feste Zusagen bezüglich Umfang und Zeitpunkt einer verstärkten Entwicklungshilfe einzulassen. Auch hinsichtlich der Frage eines Schuldenerlasses nehmen sie eher eine zurückhaltende Position ein. Tendenziell zeigen sie auch geringes Interesse an der Gründung neuer Weltinstitutionen.

Die Länder dieser Gruppe entfalten eine beachtliche Gravitationskraft. Insbesondere sind sie als Importeure und Exporteure für die wirtschaftliche Entwicklung der Entwicklungsländer von großer Bedeutung. Letztere stehen - wirtschaftlich gesehen - häufig in einer Abhängigkeitsposition. Eine Steigerung des Wachstums der OECD-Staaten um 1 % über drei Jahre hinweg löst z.B. in den Entwicklungsländern pro Jahr eine Exportsteigerung von 60 Billionen US-$ aus (Weltbank, 1992b). Eine Wachstumsabschwächung dieser Ländergruppe oder eine protektionistisch orientierte Handelsabschottung trifft die Staaten der anderen Gruppen in der Regel überproportional.

Diese Gruppe ist Ausgangspunkt neuer technologischer Entwicklungslinien. Bei ihnen liegt somit die Mehrheit der Eigentumsrechte an neuen Produkten und Produktionsverfahren. Insofern kommt ihnen auch beim in der Konferenz von Rio de Janeiro angesprochenen Technologietransfer eine besondere Bedeutung zu.

Des weiteren vermögen diese Länder vielfach aufgrund ihrer Kontrollmechanismen (Behörden, neutrale Prüfeinrichtungen, öffentliche Meinung) in effizienter Weise umweltsensible Wirtschaftsaktivitäten (etwa Stromerzeugung auf der Basis von Kernenergie oder chemische Produktion) zu beherrschen und sind in starkem Maße Ausgangspunkt neuer Produktlebenszyklen, Produktionsverfahren und damit auch neuer Umwelttechnologien. Hinzu kommt, daß sie in anderer Weise für die globalen Umweltprobleme verantwortlich zeichnen als die Entwicklungsländer (Weltbank, 1992a). So stehen unter globalen Aspekten vor allem die Kohlendioxid-, Kohlenmonoxid-, Stickoxide- und Schwefeldioxid-Emissionen, die Zerstörung der Ozonschicht der Stratosphäre durch die FCKW-Einträge, der photochemische Smog und die gefährlichen Abfälle im Vordergrund. Letztere sind vor allem dann von Bedeutung, wenn sie

zu ihrer Beseitigung in andere Länder mit problematischen Deponien transportiert werden.

2. Die osteuropäischen Länder

Es handelt sich hier - vor allem gemessen am Produktionsumfang - immer noch um wirtschaftlich bedeutsame Nationen, die jedoch aufgrund der Transformation ihrer Wirtschaftsysteme, der offenkundigen Effizienzprobleme ihrer Ökonomien sowie der Auflösung ihrer politisch abgeschotteten Wirtschaftsräume aus der Gruppe der entwickelten Länder zurückzufallen drohen.

Sie sind mehrheitlich durch ein noch unterdurchschnittlich entwickeltes Umweltbewußtsein sowie - im Vergleich zu den hochentwickelten Gebieten - vor allem durch einen rückständigen Umweltschutz, d.h. im Vergleich zu den Ländern der nachfolgenden Gruppen durch sehr große Emissionsminderungspotentiale gekennzeichnet.

Teilweise in Übereinstimmung mit den USA nahmen diese Staaten bis Anfang dieses Jahrzehnts gegenüber klimapolitischen Beschlüssen eine eher ablehnende Position ein. Bei den Vorverhandlungen zur UNCED-Konferenz haben die meisten Länder dieser Gruppe das Ziel verfolgt, als Länder mit Ökonomien im Übergang von den Emissionslimitierungen der Industrieländer ausgenommen zu werden und für sich den Status von Entwicklungsländern zu reklamieren (Czakainski, 1992). Als Geldgeber im Rahmen einer globalen Entwicklungshilfe werden diese Länder zunächst ausscheiden.

Der bereits erreichte Umfang der volkswirtschaftlichen Wertschöpfung mit hohem Anteil an industrieller Produktion, in Verbindung mit dem defizitären technischen Umweltschutz, führt dazu, daß die Länder dieser zweiten Gruppe bezüglich der CO_2-, SO_2- und FCKW-Einträge mit zu den Hauptemittenten der Welt zählen und darum für viele globale Umweltprobleme mitverantwortlich zeichnen. So stammte Ende der 80er Jahre rund ein Drittel aller globalen CO_2-Emissionen aus Osteuropa einschließlich der damaligen UdSSR (RWI, 1993). Gemäß ersten Einschätzungen stellen die Luftbelastungsprobleme, gefolgt von der Gewässerbelastung, die größte Hypothek der Vergangenheit dar (Hughes, 1992). Diese Umweltprobleme, die vor allem zu Lasten der menschlichen Gesundheit gehen, konzentrieren sich insbesondere auf die Gebiete mit hoher Einwohnerdichte.

Angesichts ihrer gegenwärtigen und mittelfristig zu erwartenden Wirtschaftsprobleme ist zu befürchten, daß ohne Hilfe von außen der dringend erforderliche Auf- und Ausbau des technischen Umweltschutzes (etwa allein durch Modernisierung der Kraftwerke) und damit die Mobilisierung eines beachtlichen Emissionsminderungspotentials bei Luftschadstoffen unterbleibt.

3. *Die Schwellenländer ("Newly Industrializing Countries")*

Es handelt sich hier um Länder, für die in den nächsten Jahren im Vergleich zum Weltdurchschnitt und sogar zu den hochentwickelten Ländern die höchsten Wachstumsraten erwartet werden (Weltbank, 1992b). Da die meisten gleichzeitig immer noch hohe Bevölkerungszuwachsraten verzeichnen und teilweise eine bereits hohe Einwohnerdichte aufweisen, kommt ihnen für den künftigen globalen Wandel besondere Bedeutung zu.

Im asiatisch-pazifischen Raum zählen zu dieser Gruppe der Schwellenländer die vier "alten Tiger" Korea, Taiwan, Hongkong, Singapur und die "Nachwuchs-Tiger" Malaysia, Thailand und Indonesien; außerhalb dieses Raumes werden vor allem Argentinien, Brasilien sowie die Türkei dieser Gruppe zugeordnet (Weltbank, 1989; IWF, 1989).

Kennzeichnend für diese Schwellenländer ist in der Regel, daß bei ihnen der Anteil unmittelbar produktiver Investitionen am Volkseinkommen - als wichtigstem Kriterium für einen wirtschaftlichen Aufstieg - in den letzten Jahren stark anstieg, es vor allem zu einer vertikalen Diversifizierung der Produktionsstruktur verbunden mit einer überproportionalen Zunahme der interindustriellen Verflechtung kam, was, mit Ausnahme bei den Investitionsgütern, häufig auch eine Substitution von Importprodukten und die Erwirtschaftung exportfähiger Produktionsüberschüsse ermöglichte. Die Exportstruktur verlagerte sich weg von den rohstoffnahen und standortbestimmten Gütern hin zu Industriewaren, die mit Standardtechnologien produziert werden können, und vielfach gelang es sogar, eigene Schlüsselsektoren aufzubauen (Milton, 1990; Weltbank, 1992b; UNDP, 1992).

Durch den eben skizzierten sektoralen Wandel konnte in den Schwellenländern teilweise eine Umweltentlastung erzielt werden. Noch relevanter ist jedoch, daß die sich neu entwickelnden Schlüsselbereiche (z.B. Mikroelektronik) zumeist hohe Anforderungen an den Standort und damit auch an die Umweltqualität stellen, und vor allem bei den Schwellenländern im asiatisch-pazifischen Raum dem technischen Umweltschutz doch allmählich höherer Stellenwert eingeräumt wird.

Die wirtschaftliche Entwicklung dieser Ländergruppe führte indirekt zu beachtlichen Produktivitätssteigerungen in der Landwirtschaft und damit zur Ausweitung der Ernährungsbasis.

Das Hauptproblem dieser Länder sind die Urbanisierungsprobleme, die Ausweitung der Siedlungsfläche, die Beseitigung der giftigen Industrieabfälle sowie ein stark ansteigendes Verkehrsaufkommen.

4. Die Gruppe der brennstoffexportierenden Länder

Es handelt sich hier um eine sehr heterogene Ländergruppe, deren Exporte von Erdöl und Erdgas jedoch mindestens 50 % der Waren- und Dienstleistungsausfuhren ausmachen (Weltbank, 1992a). Hierzu gehören insbesondere Algerien, Angola, Irak, Islamische Republik Iran, Kongo, Libyen, Nigeria, Oman, Saudi-Arabien, Trinidad und Tobago, Venezuela und die Vereinigten Arabischen Emirate. Im Mittelpunkt stehen vor allem die OPEC-Staaten, deren Erdölexporte im Durchschnitt 75 % ihrer Exporterlöse erzielen (Schürmann, 1992).

Diese Länder verdanken ihren teilweise zu beobachtenden Wohlstand vor allem den beachtlichen Deviseneinnahmen, die sie aus dem Export einer immer knapper werdenden und bislang kaum ersetzbaren Ressource ziehen, wobei es ihnen im Vergleich zu anderen Rohstoffexporteuren gelang, über Kartellstrategien (OPEC-Kartell) sie begünstigende Preise durchzusetzen. Sie zeigen darum wenig Interesse an Maßnahmen zur Einschränkung und Verteuerung des Verbrauchs fossiler Energieträger. In ihrem Wiener Kommunique (1991) sprachen sie sich entschieden gegen wachstumslimitierende Überlegungen aus und lehnten die Vorschläge zur Reduktion der CO_2-Emissionen ab.

In ihren Ländern konzentriert sich häufig eine auf das Mineralöl ausgerichtete Verarbeitung und Chemische Industrie, die sich nicht immer an den Umweltstandards der hochentwickelten Länder orientiert. Vielfach gilt für diese Länder auch das ökonomisch und umweltbezogene Problem eines "Wachstums ohne Entwicklung", und zwar auch zu Lasten der Umwelt. Einige Länder haben darum ihre Entwicklungschance vertan und rutschen immer stärker in die nachfolgende Gruppe ab.

5. Die große Gruppe der Entwicklungsländer

Hier steht eine sehr heterogene Gruppe von Ländern im Vordergrund, die sich noch alle durch das Kriterium der Unterentwicklung auszeichnen. In dieser Situation sind sie sowohl Verursacher als auch Betroffene globaler Umweltprobleme. So haben sich 36 Staaten, vor allem pazifische Inselstaaten, die kaum einen Beitrag zu den Treibhausgasemissionen leisten, aber aufgrund ihrer Inselsituation sowie ihrer geographischen Lage negative Folgen einer Klimaänderung (Anstieg des Meeresspiegels) befürchten, zur Alliance of Small Island States (AOSIS) zusammengeschlossen. Sie schlagen den Aufbau eines Internationalen Klimafonds vor und setzen sich für die Etablierung eines Internationalen Versicherungssystems ein. Eine weitere Gruppe bilden die G-77-Staaten und China, die vor allem Entwicklungshilfe und kostenlosen Technologietransfer fordern. Hierbei betrachten sie (etwa China, Indien und Brasilien) häufig das von ihnen ausgehende ökologische Bedrohungspotential als Druckmittel zur Durchsetzung ihrer Forderungen. Mehrheitlich sprechen sie

sich gegen eine substantielle Verpflichtung zur Begrenzung der Treibhausgasemissionen aus (vgl. die von 55 Staaten im Vorfeld von UNCED unterschriebene Kuala Lumpur-Deklaration). Dies gilt u.a. für Indien und China, die über die größten Kohlenvorräte der Welt verfügen.

Unter den Ländern dieser Gruppe stehen vor allem die "Least Developed Countries " vor großen Problemen. Sie werden vom Weltwachstumstrend nicht nur immer stärker abgekoppelt, sondern sind vor allem durch eine Art "Krise der Entwicklung" bzw. "Verelendungswachstum" (Nohlen und Nuscheler, 1992a) gekennzeichnet, d.h. auch durch eine beachtliche Konzentration von Krankheit, Analphabetismus und Unterernährung (Sachs, 1989; Nohlen und Nuscheler, 1992b) bzw. einen "Teufelskreis der Armut" (Stucken, 1966). In diesen Ländern geht es teilweise notgedrungen nur noch um das blanke Überleben, was in der Regel eine Vernachlässigung längerfristig orientierter Umweltschutzüberlegungen bedeutet. Die Bevölkerung wächst bei steigender, aber im Vergleich zu den Ländern der ersten Gruppe immer noch niedriger Lebenserwartung vor allem aufgrund der hohen Geburtenraten rasch, das gesellschaftliche und politische Umweltbewußtsein ist häufig wenig ausgeprägt, für den technischen Umweltschutz fehlt das notwendige Geld. Da eine effizient arbeitende Verwaltung fehlt, kommt es selbst beim Ausbau eines Umweltrechtsrahmens in der Regel zu Kontroll- und Vollzugsdefiziten, was vor allem den Einsatz des ordnungsrechtlichen Instrumentariums fast unmöglich macht. Staatsunternehmen werden häufig großzügig von Umweltforderungen befreit.

Die dringendsten Umweltprobleme dieser Länder sind in der Regel verseuchtes Wasser, ungenügende sanitäre Einrichtungen, Raubbau am Boden, der Rauch von Feuerstellen in den Häusern und die Emissionen aus dem Einsatz von Holz und Kohle (Weltbank, 1992a). Im Gegensatz zu den hochentwickelten Ländern dominiert die direkte Gefährdung des menschlichen Lebens und die regionale Konzentration dieser Probleme - etwa in den explodierenden Großstädten.

Unter globalen Aspekten spielen die durch Bevölkerungsentwicklung und Unterentwicklung erzwungene Vernichtung schutzwürdiger Ökosysteme (tropische Wälder), die durch unangepaßte Agrartechnik induzierte Bodendegradierung sowie über die katastrophalen Hygieneverhältnisse ausgelöste Seuchengefahr eine große Rolle. Anfang des nächsten Jahrhunderts werden die unterentwickelten Länder zu einem Viertel zum CO_2-Eintrag beisteuern, wobei den Haushalten bzw. Kleingewerbe, aber auch dem Verkehr große Bedeutung zukommt (RWI, 1993).

Das Wirtschaftswachstum bzw. die Entwicklung der Handelsbeziehungen innerhalb und zwischen diesen fünf Gruppen divergiert beachtlich. Dies wird mit größter Wahrscheinlichkeit auch für die Zukunft gelten. Teilweise bewegen sich deswegen auch die Ursachen des globalen Wandels auseinander. Unver-

kennbar ist z.B., daß sich - vor allem wenn man die räumliche Verflechtung des Güter- und Kapitalverkehrs berücksichtigt - in der Nachkriegszeit drei große Gravitationszentren (Isard, 1962; Tinbergen, 1962; Milton, 1990) herausgebildet haben, was neuerdings auch mit dem Bild der *Entwicklungs-Triade* umschrieben wird. So tritt seit geraumer Zeit neben

- den relativ festgefügten und in das osteuropäische Mitteleuropa expandierenden europäischen Handelsblock (12 EG-Länder, die 3 skandinavischen Länder, Schweiz und Österreich) sowie
- die drei nordamerikanischen Staaten Kanada, USA und Mexiko (NAFTA) als zweitem Block
- zunehmend ein noch nicht so festgefügter asiatischer Block mit Japan, Korea, Taiwan, Hongkong, Singapur, Malaysia, Thailand und Indonesien.

Inwieweit China und Indien als potentielle Schwellenländer hierzu aufschließen können, ist noch offen. Da es sich in beiden letztgenannten Fällen aber um sehr bevölkerungsreiche Länder handelt, die eine umfassende Industrialisierung anstreben und hierbei vor allem auf ihre enormen Vorräte an fossilen Energieträgern zurückgreifen werden, ist deren Entwicklung unter dem Aspekt der für die globalen Umweltveränderungen relevanten Emissionen bedeutsam.

Es herrscht gegenwärtig jedoch weitgehend Konsens darüber, daß die eben umrissenen drei Gravitationszentren samt der Schwellenländer das Wachstum der Weltwirtschaft in den nächsten zehn bis zwanzig Jahren wesentlich bestimmen werden (Weltbank, 1992b), wobei ihr Wachstum aufgrund der bestehenden ökonomischen Abhängigkeiten in starkem Maße auch über die wirtschaftliche Expansion der anderen Gruppen mitentscheiden wird. Wachstumsabschwächungen in diesen drei großen Gravitationszentren haben, wie gerade die Entwicklung der letzten Jahre wiederum drastisch belegt, zumeist einen überdurchschnittlichen wirtschaftlichen Einbruch der anderen Gruppen zur Folge. Insofern stellen die im Vergleich zu den 80er Jahren sich gegenwärtig anbahnenden Wachstumsrisiken in wichtigen Ländern dieser Triade eine eher ungünstige mittelfristige Rahmenbedingung für die unterentwickelten Länder dar, die sich zusätzlich noch mit der Gefahr einer Neubelebung protektionistischer Überlegungen verbindet. Umweltpolitisch ist dies insofern ein Dilemma, als sinkende Wachstumsraten den Widerstand der Wirtschaft der hochentwickelten Länder gegen verschärfte Umweltanforderungen wecken und eine durch wirtschaftliches Wachstum induzierte Umweltentlastung in den anderen Gruppen unterbleibt. Letzteres trifft, wie gleich noch dargestellt wird, vor allem für die Gruppe 5 zu.

Eine Prognose über die schwer einzuordnende neue Gruppe der osteuropäischen Länder zu wagen, ist gegenwärtig kaum möglich (Borenzstein und Montiel, 1992; Weltbank, 1992a). Tendenziell dominiert zur Zeit ein gewisser Pessimismus. Dies ist insofern problematisch, als diese Ländergruppe mit zu

den entscheidenden Emittenten global schädlicher Stoffe zählt (Ende der 80er Jahre z.B. ein Drittel aller globalen CO_2-Emissionen) und bereits über eine Modernisierung des überkommenen Realkapitals - etwa zwecks Steigerung des Wirkungsgrads im Kraftwerksbereich - Emissionen drastisch gemindert werden könnten. Während z.B. in Westeuropa und Japan 1989 pro Kopf und Jahr 2,2 t CO_2 emittiert wurden, betrugen die entsprechenden Werte für Osteuropa 2,9 t, für die ehemalige UdSSR sogar 3,7 t. Während in Japan zu diesem Zeitpunkt zur Produktion im Werte von 1.000 US-$ lediglich 4,2 Gigajoule (GJ) an Brennstoffen und knapp 1,3 GJ an Strom verbraucht wurden, benötigten die osteuropäischen Staaten nahezu achtmal soviel Energie, um die gleiche Produktionsleistung zu erwirtschaften (RWI, 1993). Würde es daher gelingen, diese Ländern wachstumsbedingt - nur dann findet die erforderliche Modernisierung des überkommenen Realkapitalbestandes statt - an die bereits realisierten Wirkungsgrade bzw. Umweltstandards Japans oder Westeuropas heranzuführen, würde bereits eine beträchtliche Entlastung bezüglich der globalen Umweltprobleme stattfinden.

Letzteres wäre mit mehreren Konsequenzen für die unterentwickelten Länder (Least Developed Countries) und damit auch für den globalen Wandel verbunden, wobei man, was den gegenwärtigen Entwicklungsstand und die Entwicklungstendenzen betrifft, innerhalb dieser Gruppe auf wichtige Unterschiede aufmerksam machen muß (Weltbank, 1991 und 1992a; UNDP, 1992). Geht man zunächst von der Zustandsbeschreibung Ende der 80er Jahre aus, so lag der größte Teil der wirklich armen Länder mit einem Jahreseinkommen von weniger als 370 US-$ damals in Südostasien sowie Schwarzafrika und betraf dort die Hälfte der Gesamtbevölkerung, verglichen mit ca. 20 % in Ostasien und Lateinamerika (Weltentwicklungsbericht 1990, 1991 und 1992; Walton 1990; Summers, 1992; UNDP, 1992). Das bedeutet, daß auch heute noch über eine Milliarde Menschen, das sind ein Fünftel der Weltbevölkerung, in der Regel von weniger als einem Dollar pro Tag leben müssen - ein Lebensstandard, den Westeuropa und die Vereinigten Staaten, statistisch gesehen, bereits vor etwa 200 Jahren erreicht hatten (Thomas, 1992; Weltbank, 1991 und 1992). Am schlimmsten fiel hierbei - sowohl bezüglich des Einkommens als auch hinsichtlich der Lebensbedingungen - die Armut in den ländlichen Gebieten aus, was auch die starke Landflucht bzw. den gewaltigen Urbanisierungsprozeß erklärt.

Was den Rückgang der Armut betrifft, so wurden in den letzten Jahren - über die Gesamtheit dieser Länder gesehen - unverkennbar Fortschritte erzielt und waren die 80er Jahre entgegen manchen Behauptungen auch keineswegs das vielzitierte "verlorene Jahrzehnt" (Karaosmanoglu, 1991). Die Mehrzahl der Länder der ehemaligen Dritten Welt konnte - gemessen am Pro-Kopf-Einkommen, der Ausweitung der Nahrungsmittelproduktion (Osten-Sacken, 1992), der Steigerung der Lebenserwartung sowie der Absenkung der Kindersterblichkeit - in den letzten 25 Jahren durchaus eine positive Entwicklung verzeichnen (Summers, 1992; Weltbank, 1991 und 1992). Dies trifft, läßt man

einmal Bangladesch, Laos, Nepal, Pakistan, die Philippinen, Sri Lanka und Afghanistan außer acht, insbesondere für die Armen Süd- und Ostasiens zu (Walton, 1990; Summers, 1992; Weltbank, 1991, 1992a). Besonders auffallend war hierbei das im Vergleich zu allen Entwicklungsländern überdurchschnittliche Wachstum der sich schnell industrialisierenden Länder Korea, Thailand, Malaysia und Indonesien. Wenn sich darum die Prognosen der Weltbank bewahrheiten, könnte sich der Anteil Asiens, in dem gegenwärtig etwa die Hälfte der Weltbevölkerung von ca. 5 Mrd. lebt, an der Weltarmut durchaus von 72 % (1985) bis zum Jahre 2000 auf etwa 53 % verringern (Weltbank, 1990).

Unverkennbar ist aber auch die Tatsache, daß sich im asiatischen Raum angesichts des hohen Bevölkerungswachstums - etwa 35 % sind jünger als 15 Jahre - sowie der bereits erreichten hohen Bevölkerungsdichte in besonderer Weise im Gefolge dieses zu erwartenden Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstusm ökologische Probleme einstellen werden (siehe 2.1). So nutzen in Asien (außer Pakistan) zur Zeit etwa 354 Menschen einen Quadratkilometer landwirtschaftlich verwertbaren Boden, verglichen mit 55 Menschen in Lateinamerika, 58 in der Region südlich der Sahara und 116 Menschen im Nahen Osten und Nordafrika. In Bangladesch sind es sogar über 1.000 Einwohner je Quadratkilometer agrarisch verwertbaren Bodens (Karaosmanoglu, 1991). Regionale Unterschiede innerhalb dieser Länder blieben hierbei unberücksichtigt, können jedoch künftighin immer bedeutungsvoller werden. Dies gilt vor allem dann, wenn man die künftige Bevölkerungsentwicklung - Zuwachs von 3,1 Mrd. auf 5,1 Mrd. Menschen - in diesem Raum berücksichtigt. So wird heute davon ausgegangen, daß bis zum Jahre 2025 dort mehr als 50 Städte jeweils mehr als 4 Mio. Einwohner haben werden, verglichen mit gegenwärig etwa 20 (Karaosmanoglu, 1991). In Bangladesch kann die Einwohnerdichte auf den fast unvorstellbaren Wert von 1.700 Einwohner je Quadratkilometer steigen (Weltbank, 1992a; zum Vergleich Ruhrgebiet Ende der 80er Jahre knapp 1.200 Einwohner je Quadratkilometer; KVR, 1989).

Trotz der, was die wirtschaftliche Entwicklung betrifft, für manche Entwicklungsländer positiver klingenden wirtschaftlichen Zukunftserwartung wird sich am bestehenden Nord-Süd-Entwicklungsgefälle in den nächsten Jahren voraussichtlich nichts entscheidend ändern. Ein Viertel aller Entwicklungsländer läuft sogar Gefahr einer rückläufige Entwicklung (Thomas, 1991). So gab es Ende der 80er Jahre bereits 40 Länder, die hinter das Entwicklungsniveau, das sie bereits vor 25 Jahren erzielt hatten, zurückgefallen waren. Diese Zahl wird sich möglicherweise in den nächsten Jahren eher vergrößern als verringern. Sorge bereiten einige Länder Lateinamerikas, insbesondere aber Schwarzafrika[4], wo sich südlich der Sahara eine fast unaufhaltsame Entwicklungskatastrophe anzubahnen scheint (Walton, 1990; Boeckh, 1992). Hier leb-

[4]Der Begriff Schwarzafrika bezieht sich in der Regel auf die Länder südlich der Sahara, ohne Südafrika.

ten Mitte der 80er Jahre fast eine halbe Milliarde Menschen, deren Bruttoinlandsprodukt aber nur dem Belgiens mit seinen 10 Mio. Einwohnern entsprach (Landell-Mills, Agarwala und Please, 1989). Einige dieser afrikanischen Länder hatten Ende der 80er Jahre Pro-Kopf-Einkommen, die niedriger waren als diejenigen bei der Unabhängigkeit vor dreißig Jahren; in vielen dieser Länder nahm sogar das tägliche Kalorienangebot je Kopf ab (Easterly, 1991).

Aus diesem Grunde geht die Weltbank auch davon aus, daß sich der afrikanische Armuts-Anteil von 16 % im Jahre 1985 - das waren immerhin 85 Mio. Menschen - bis zum Jahre 2000 auf etwa 32 % verdoppeln könnte. Sorge bereitet vor allem, daß die Nahrungsmittelproduktion vielfach mit dem Bevölkerungswachstum nicht Schritt halten kann. Sollte sich das Bevölkerungs-"Alptraum-Szenario" der UN-Wirtschaftskommission vom Anfang der 80er Jahre bewahrheiten, muß in Schwarzafrika alle 23 Jahre mit einer Verdopplung der Bevölkerung gerechnet werden (Landel-Mills et al., 1989). Bedrückend ist hierbei, daß ein solches Bevölkerungswachstum, was die Ernährungsbasis betrifft, durchaus noch verkraftbar wäre. So stünde gemäß den Berechnungen von Experten in weiten Teilen Afrikas selbst bei herkömmlicher Agrartechnologie im Falle der verkehrsinfrastrukturellen Erschließung, der Bewältigung der logistischen Probleme einschließlich Lagerhaltung und der Liberalsierung der Preis- und Absatzsysteme (Ali et al., 1991) noch genügend Fläche zur Verfügung, um das für die Bevölkerungsernährung erforderliche Wachstum der afrikanischen Landwirtschaft (voraussichtlich 4 %) noch zu erreichen. Problematischer würde es lediglich in Nigeria, Äthiopien und Kenia (FAO, 1984). Alle Anzeichen sprechen jedoch dafür, daß dieses Potential nicht genutzt werden kann.

Teilweise wird dieser Mißerfolg in der Armutsbekämpfung in Schwarzafrika vor allem auf die Vernachlässigung der landwirtschaftlichen Bereiche zurückgeführt. Hinzu kommen eine unzureichende Investition in die Schulausbildung, eine problematische Industrialisierungsstrategie in den vergangenen Jahren, eine Verschlechterung der "Terms of Trade" in der zweiten Hälfte der 80er Jahre (Nsouli, 1989; Summers, 1992), steigenden Haushaltsdefizite bei häufig relativ hohem Militärausgabenanteil (Hewitt, 1991), eine wachsende Auslandsverschuldung (Summers, 1992), ein Verfall der die politische und ökonomische Stabilität wahrenden Institutionen sowie die sich ausbreitenden kriegerischen Auseinandersetzungen (Walton, 1990; Summers, 1992). Teilweise spielten auch eine Serie von Dürreperioden in den 70er und 80er Jahren eine wichtige Rolle, die vor allem Ost- und Südafrika trafen.

Gerade bei dieser Gruppe der Least Developed Countries zeigt sich in besonders prägnanter Weise, daß Umweltzerstörungen vielfach Ursache und Folge von Armut und Entwicklungskrise sind. Berücksichtigt man z.B., daß das für das Umwelthandeln relevante Umweltbewußtsein der Individuen, der Gesellschaft oder Politiker durch entwicklungsabhängige Faktoren mitbestimmt wird,

oder die Bevölkerungsentwicklung invers zur Wohlstandsentwicklung verläuft, wird bereits hier deutlich, daß wirtschaftliche Entwicklung auch positive Umwelteffekte auslösen kann. Sowohl unter dem Blickwinkel der Ursachenforschung als auch unter dem Aspekt der Handlungsempfehlungen ist eine regionalisierte Betrachtung der Entwicklung des Weltwirtschaftswachstums unverzichtbar.

Die Sektoralstruktur des Weltwirtschaftswachstums

Wissenschaftlich befriedigende Antworten auf die Frage, in welchem Ausmaß der erkennbare sektorale Strukturwandel, insbesondere im Bereich der Industrie, dazu beitragen kann, die Belastung der Umwelt zu erhöhen oder zu vermindern, sind bis jetzt selbst im nationalen Bereich nur wenige zu finden. In Deutschland wurden hierzu vor allem im Bereich der Strukturberichterstattung Analysen vorgenommen (Graskamp et al., 1992), auf internationaler Ebene stellen solche Analysen jedoch noch eine gewisse Seltenheit dar. Insbesondere bestehen über die These, der Wandel von der Industrie- zur Dienstleistungsgesellschaft verbinde sich mit "ökologischen Gratiseffekten", immer noch unterschiedliche Auffassungen. Dies hat verschiedene Gründe.

Zum einen ist es keineswegs sicher, daß selbst in den hochentwickelten Nationen von einem ungebrochenen Trend in die Dienstleistungsgesellschaft gesprochen werden kann. Neuere Prognosen lassen z.B. für die Bundesrepublik durchaus eine Phase leichter "Re-Industrialisierung" erkennen (RWI, 1993). Unter globalen Aspekten wird jedoch eine weitere Industrialisierung unausweichlich sein. Des weiteren ist zu berücksichtigen, daß viele Bereiche im Tertiärsektor (Dienstleistungssektor) unter bestimmten Bedingungen mit signifikanten Umweltbelastungen verbunden sein können. Hierzu zählen bedeutende Dienstleistungssektoren wie Verkehr oder Tourismus. Der mögliche Entlastungseffekt durch intersektoralen Strukturwandel kann jedoch durch mögliche Belastungswirkungen des intrasektoralen Wandels zunichte gemacht werden. Dies ist z.B. dann der Fall, wenn die Vorleistungsverflechtung zunimmt und zusammen mit einer Globalisierung der Märkte bzw. einer Internationalisierung der Produktion zusätzlichen Verkehr induziert. Regionale Entlastungseffekte (etwa Umweltentlastung des Ruhrgebiets durch Rückgang der Montanindustrie) können darum durchaus mit überregionalen oder globalen Belastungseffekten verknüpft sein.

Die Rolle des Primärsektors

Der Land- und Forstwirtschaft sowie der Fischerei müssen unter dem Aspekt globaler Umweltveränderungen besondere Bedeutung beigemessen werden. Diese Bedeutung kommt in Teilen schon in den Kapiteln Wasser, Böden und Wald zum Ausdruck, kann aber in dem vorliegenden Gutachten nicht erschöpfend behandelt werden. Es wird die Aufgabe des Beirats sein, sich mit der Rolle des Primärsektors in weiteren Gutachten auseinanderzusetzen. Dabei

sollen die zur Zeit von der Enquete-Kommission zum Schutz der Erdatmosphäre erarbeiteten Grundlagen miteinbezogen werden.

Sowohl in den Entwicklungsländern als auch in den höher entwickelten Ländern ist der Primärsektor eng mit globalen Umweltveränderungen verknüpft. Bei den erstgenannten Ländern sind es im wesentlichen die Ausdehnungen der Acker-, Weide- und Bewässerungsflächen zu Lasten anderer Ökosysteme sowie die Übernutzung von Weiden und Wäldern, die Anlaß zur Sorge bereiten. Bei den letzteren sind es die mit der Intensivierung der Landbewirtschaftung verbundene Mechanisierung und Chemisierung, die Probleme verursachen. In beiden Fällen können aus der Sicht nachhaltiger Nutzbarkeit drei übergeordnete Fragen unterschieden werden.

1. Inwieweit wird durch die in verschiedenen Regionen verwendeten Nutzungsstrategien und ihre sozioökonomische Steuerung die nachhaltige Nutzbarkeit und Produktivität der bewirtschafteten Acker-, Weide- und Waldflächen beeinträchtigt ?

2. Inwieweit beeinflussen Veränderungen des physikalischen und chemischen Klimas die Nutzbarkeit und Produktivität der bewirtschafteten Acker-, Weide- und Waldflächen (Stichwort zu 1 und 2: Nachhaltige Landbewirtschaftung) ?

3. Inwieweit gehen von den bewirtschafteten Acker-, Weide- und Waldflächen Belastungen für benachbarte Ökosysteme (terrestrische und aquatische) sowie für das Grundwasser und die Atmosphäre aus (Stichwort: Umweltschonende Landbewirtschaftung) ?

Die Produktivität wird wesentlich durch die im Kapitel Boden beschriebenen Degradierungsprozesse vermindert. So beschleunigt zum Beispiel in Regionen mit hoher Niederschlagsintensität die zeitweise Freilegung der Bodenoberfläche durch Ernte, Beweidung oder Brand die Erosion durch Wasser ganz erheblich. Dieser Prozeß wird noch verstärkt, wenn die Eingriffe mit Verdichtungen einhergehen. In Regionen mit starken Winden oder Stürmen, wie dies in ariden Regionen häufig der Fall ist, führt die Verminderung oder Vernichtung der Bodenbedeckung zum Abtrag durch Winderosion. Beispiele hierfür finden sich in allen Teilen der Welt, allerdings gibt es starke regionale Unterschiede. Zu nennen sind unter anderem für die höherentwickelten Länder der Trend zu großen zusammenhängenden Ackerflächen und daran geknüpfte gleichmäßige Bewirtschaftung, der Einsatz überschwerer Maschinen, nicht angepaßte Bearbeitungsmethoden und die Vereinfachung der Fruchtfolgen bis hin zu Monokulturen. In den Entwicklungsländern sind es die unkontrollierte Ausdehnung der Acker- und Weideflächen zu Lasten der Wälder, die Überweidung von Grasländern mit geringer Produktivität sowie die Anwendung falscher Techniken bei der Bewirtschaftung.

Die chemische Degradierung besteht zum einen in der Nährstoffverarmung von land- und forstwirtschaftlichen Ökosystemen. Sie erfolgt durch Auswaschung, Verbrennung und Biomasseexport. Diese Form der Degradierung ist in den Entwicklungsländern häufig, da kein entsprechender Ersatz der Exporte stattfindet. Das Gegenteil ist in vielen höher entwickelten Ländern festzustellen, wo Überdüngung zu Belastungen von Nachbarsystemen führt. In diesem Zusammenhang sind insbesondere gelöste (NO_3^-) und gasförmige (NH_3, NO_x, N_2O) Stickstoffverbindungen zu nennen (siehe 1.4). In Industrieländern und Ballungsgebieten kommen lokale und regionale Belastungen mit Säuren, toxischen Substanzen wie Schwermetallen und human- und ökotoxischen organischen Substanzen hinzu. Diese Bodendegradierungen und die mit zunehmender Intensivierung der Landwirtschaft einhergehende Homogenisierung der Pflanzenbestände bis hin zu genetisch einheitlichen Sorten führt zu einer Reduktion der biologischen Vielfalt. Die damit einhergehende Abnahme der Stabilität und Regenerationsfähigkeit von Ökosystemen ist dann nur noch mit erhöhtem Aufwand an Energie, Düngern und Pflanzenschutzmitteln zu erreichen. Hier muß eine Optimierung der Landnutzung angestrebt werden, die auch eine Reduzierung des Energie- und Stoffeinsatzes zum Ziel hat.

Anders als natürliche und Forstökosysteme mit langen Umtriebzeiten sind vom Menschen gesteuerte Agrarökosysteme im Hinblick auf die zu erwartenden Klimaveränderungen anpassungsfähiger. Durch die Wahl bereits vorhandener Pflanzenarten und -sorten, die Züchtung neuer Sorten und die Anwendung geeigneter Bewirtschaftungsformen kann elastisch auf Veränderungen reagiert werden. Allerdings sind den Anpassungen Grenzen gesetzt. Hinsichtlich der Nährstoffausstattung und Wasserversorgung können marginale Standorte nur durch Meliorations- oder Bewässerungsmaßnahmen gehalten werden, müssen aber aus ökonomischen Gründen häufig aufgegeben werden .

Der Anstieg der CO_2-Konzentrationen kann für die Landwirtschaft eine Düngung bedeuten. Da in der Landwirtschaft die anderen ertragsbildenden Faktoren optimiert werden, ist hier mit deutlichen Effekten zu rechnen. Inwieweit natürliche Ökosysteme darauf reagieren (Wachstum, Artenverschiebung) ist weitgehend unbekannt, dies gilt auch für die Wälder der Erde (siehe 1.5).

Die spezielle Ausprägung der Landwirtschaft kann hierfür immer nur vor dem Hintergrund eines räumlich definierten Naturhaushalts (siehe 1.5) umweltpolitisch bewertet werden (SRU, 1985). Dies muß angesichts der Bedeutung und Empfindlichkeit von Ökosystemen in den Tropen, dem Bereich mit dem größten Bevölkerungswachstum, in besonderer Weise beachtet werden.

Die Land- und Forstwirtschaft sind nicht nur Betroffene der globalen Umweltveränderungen, sondern auch Mitverursacher. So tragen sie zu den Emissionen

von Spurengasen durch die Abholzung von Wäldern (siehe 1.5.1) und die Änderung der Landnutzung (siehe 1.4), durch die Methan-Freisetzung aus dem Reisanbau und den Mägen der Wiederkäuer, durch die Freisetzung von CO_2 aus dem Abbau von organischen Substanzen der Böden sowie durch die Freisetzung von Lachgas aus hochgedüngten Agrarökosystemen (siehe 1.4) bei. Aus land- und forstwirtschaftlich genutzten Ökosystemen ausgetragenen Stoffe können als gelöste Stoffe das Grundwasser und Gewässer belasten (Nitrat, Pestizide, Schwermetalle) oder als suspendierte Stoffe in Gewässern, Senken und Flußniederungen und Flachmeeren abgesetzt werden. Dadurch können diese Nachbarsysteme in ihren Eigenschaften stark verändert werden.

Aus diesen Beispielen wird nicht nur ersichtlich, daß gleiche wirtschaftliche Aktivitäten bei divergierenden naturräumlichen Gegebenheiten hinsichtlich ihrer globalen Auswirkungen (Tropenwaldvernichtung, Desertifikation usw.) unterschiedlich einzuschätzen sind (Guppy, 1984), sondern es wird auch deutlich, daß viele globale Umwelteffekte Folge einer nichtangepaßten Agrartechnologie sind. So sind - über die Fläche definiert - die Spielräume für eine landwirtschaftliche Nutzung der Erdoberfläche begrenzt, beachtlicher Spielraum besteht aber immer noch bezüglich des biologischen, technischen und organisatorischen Fortschritts (Revelle, 1976). Kommt letzterer nicht zur Anwendung, ergibt sich eine unerwünschte Ausdehnung der landwirtschaftlich genutzten Flächen.

Die Rolle des Sekundärsektors

Die Ausführungen zur Landwirtschaft zeigten, wie wichtig eine differenzierende Betrachtung bzw. eine gleichzeitige Berücksichtigung regionaler Aspekte ist. Dies gilt auch für den unter Umweltaspekten ebenfalls bedeutsamen Sekundär- oder Industriebereich, für den in den Entwicklungsländern hohe Wachstumsraten erwartet werden. Eine solche Entwicklung verbindet sich mit einem hohen Investitionsbedarf, der - falls genügend Mittel zur Verfügung stehen - auch die Chance der hohen Realisierung eines integrierten Umweltschutzes gestattet. So geht man davon aus, daß in etwa zehn Jahren neue Anlagen mehr als die Hälfte der industriellen Erzeugung in den Entwicklungsländern bereitstellen werden und in zwanzig Jahren praktisch die gesamte. Im Gegensatz zu den Industrieländern wird darum die Einflußnahme auf die Neuinvestition wichtiger sein als die Umrüstung bestehender Anlagen.

Insbesondere wird es zu einer Ausweitung der Stromerzeugung in den Entwicklungsländern kommen, die aber - wie neuere Studien der Weltbank (Weltbank, 1992a) zeigen - bei konsequenten Reformen zur Steigerung der Effizienz, Maßnahmen zur Senkung der Umweltbelastung und Bereitstellung der dafür erforderlichen Mittel - durchaus noch ohne gravierende Steigerung der Emissionen an umweltverschmutzenden Stoffen realisiert werden könnte. So divergiert der Wirkungsgrad bei der Stromerzeugung nach Brennstoffeinsatz

und Ländergruppen immer noch beachtlich. Er lag z.B. 1989 bei der Kohle in der OECD bei 38,2 %, in Westeuropa bei 40,5 % und in Japan bereits bei 44,2 %, erreichte in Osteuropa hingegen nur 28 %, in Afrika 29 %; in Lateinamerika 31,4 % und in China 32,4 % (RWI, 1993). Noch höher sind die Divergenzen beim Gaseinsatz, ebenfalls hoch beim Mineralöleinsatz.

Definiert man die Umweltbelastung der einzelnen Wirtschaftsbereiche über ausgewählte Schadstoffindikatoren (z.B. deren Anteile an den gesamten SO_2-, NO_x-, CO_2-Emissionen sowie dem Abwasser- und Abfallaufkommen), rücken in Deutschland, aber auch in anderen Ländern, zumeist zehn Sektoren stärker in den Vordergrund. Dies sind die Energie- und Wasserversorgung, der Bergbau, die Mineralölverarbeitung, die NE-Metallerzeugung, die Chemische Industrie, die Eisenschaffende Industrie, die Zellstoff-, Papier- und Pappeerzeugung, die Gießereien, die Holzbearbeitung und der Sektor Steine und Erden (Graskamp et al., 1992). Man kann nachweisen, daß diese Bereiche ganz entscheidend zur Belastung der Umweltmedien Luft und Wasser sowie zum Abfallaufkommen beigetragen haben und darum in besonderer Weise auch Ansatzpunkte umweltpolitischer Maßnahmen waren. Sollte sich im Zeitablauf herausstellen, daß diese Sektoren - vor allem gemessen an ihrem Produktionsumfang - absolut oder relativ an Bedeutung verlieren, könnte man durchaus von einem strukturwandlungsbedingten Umweltentlastungseffekt sprechen.

In der Tat fand in den meisten hochentwickelten Ländern aufgrund des entwicklungsbedingten Strukturwandels per Saldo eine solche Entlastung statt, welche sich vor allem in regionaler Hinsicht bemerkbar machte (etwa im Ruhrgebiet). Gesamtwirtschaftlich war bislang aber der Entlastungseffekt, der durch Reduktion der sektoralen Emissionskoeffizienten erreicht werden konnte, größer als jener des Strukturwandlungseffektes. Hierbei kam dem "additiven" Umweltschutz in Form der "end-of-the-pipe-solution" besondere Bedeutung zu. Er beinhaltete jedoch zwangsläufig einen zusätzlichen Kostenaufwand für den Betreiber. Bei produktionsintegriertem Umweltschutz ist es hingegen durch Optimierung des Verfahrensablaufs möglich, die Kosten für die Verringerung der Emissionen gering zu halten oder sogar die Herstellungskosten zu senken (Lipphardt, 1989). Es ist davon auszugehen, daß künftighin der integrierte Umweltschutz bzw. der über den Strukturwandel herbeigeführte Umweltentlastungseffekt eine größere Rolle spielen werden.

Für die Entwicklungsländer sind umfassende Untersuchungen noch selten. Es zeigt sich jedoch bereits jetzt, daß sich eine verstärkte Industrialisierung dort vor allem mit drei Problemen verbindet (Weltbank, 1992a):

- Kurzfristige Erhöhung der Emissionen in bereits existierenden Industriebetrieben mit geringem Standard an Umwelttechnologien,

- Ausdehnung der Industriestädte mit Verschärfung der lokalen bzw. regionalen Umweltbelastung sowie der Urbanisierungsprobleme, da die Industrialisierung Menschen anlockt, und
- Veränderungen innerhalb der Industriestruktur weg von Aktivitäten, die eine moderate Umweltverschmutzung zur Folge haben - wie etwa die Herstellung von Textilien, Holzprodukten und die Nahrungsmittelverarbeitung - hin zu anderen Aktivitäten mit höherem umweltbelastendem Potential wie die Metall- und chemische Industrie sowie die Papierherstellung.

Für globale Umweltveränderungen bedeutend sind auch jene Zusammenhänge, die sich aus dem Wechselspiel sektoraler und regionaler Entwicklungstendenzen der einzelnen Ländergruppen ergeben. So wird die Wirtschaftsstruktur einer Region oder einer Nation auf ganz entscheidende Weise nicht nur vom Wachstum der Beobachtungseinheit selbst, sondern vor allem von der Art und Entwicklung der interregionalen oder internationalen Arbeitsteilung geprägt. Im Rahmen der sich herausbildenden internationalen Arbeitsteilung, die ihrerseits von ökonomischen und politischen Machtkonstellationen, institutionellen Rahmenbedingungen (z.B. Weltwirtschaftsordnung, Handelsabkommen oder vertragliche Herausbildung von Wirtschaftsräumen usw.), protektionistischen Maßnahmen der großen Wirtschaftsblöcke usw. mitbestimmt wird, ergeben sich Spezialisierungsprozesse, die auf die Umwelt dieser Länder sowie auf die globalen Umweltgegebenheiten zurückwirken. Diese Fragen werden im Zusammenhang mit der Diskussion der institutionellen Rahmenbedingungen des Welthandels immer wichtiger (UNDP, 1992; Weltbank, 1992b) und berühren insbesondere die aktuelle Auseinandersetzung im Rahmen der Uruguay-Runde bzw. der Reform des General Agreement on Tariffs and Trade (GATT).

Auf einige Zusammenhänge soll verwiesen werden. So können globale Umweltprobleme z.B. auftreten, wenn es im Zusammenhang mit dem Strukturwandel der hochentwickelten Länder zu einem Export "schmutziger Industrien" in die unterentwickelten Länder kommt. Dies kann über eine direkte Standortverlagerung (Verlagerung einer Betriebsstätte) oder aber auch über verstärkte Investitionstätigkeit in den Entwicklungsländern geschehen und ist dann problematisch, wenn diese Länder aufgrund ihrer Umweltgegebenheiten sowie ihrer institutionellen Rahmenbedingungen (Gefahr der Kontroll- und Vollzugsdefizite) hierfür weniger geeignet wären. So kann sich möglicherweise chemische Produktion (etwa von Produkten des Chlorkomplexes) in Deutschland aufgrund der restriktiven Anforderungen der Umweltschutzgesetzgebung, der höheren Umweltstandards und der geringeren Vollzugsdefizite der Behörden viel umweltfreundlicher vollziehen als in Brasilien, wo sich z.B. 1984/85 in Cubatao nahe Sao Paulo durch die räumliche Überlagerungen der Emissionen von Produktionsstätten der Stahl-, Kunstdünger-, Petrochemischen und Zementindustrie - wobei insbesondere die staatlichen Unternehmen eine

unerfreuliche Rolle spielten (Weltbank, 1992a) - erschreckende Immissionswerte mit katastrophalen Folgen für die dort lebenden Einwohner ergaben.

Auch der Welthandel und seine Rahmenbedingungen können auf die globalen Umweltgegebenheiten einwirken (Siebert, 1974; Bender, 1976; Walter, 1975; Gronych, 1980). Die empirische sowie theoretisch-analytische Durchleuchtung dieses komplexen Beziehungsgefüges steht jedoch erst in den Anfängen und sollte intensiviert werden. So sind die spezifische Rolle multinationaler Unternehmen beim Technologietransfer sowie die negativen Rückwirkungen des verstärkten Protektionismus der Industrieländer zu überprüfen.

Die Frage, wie die internationale Arbeitsteilung unter dem Aspekt der globalen Umweltveränderungen zu bewerten ist, rückt immer stärker in den Vordergrund. Erste empirische Analysen hierzu liegen bereits vor. Sie betreffen etwa die "Ausfuhrbelastung" mit umweltsensiblen Gütern. Hierbei ergab sich für Ende der 80er Jahre bei einem Vergleich von 109 Ländern für Deutschland eine mittlere, für die Sowjetunion oder Brasilien eine deutlich überdurchschnittliche und für Japan und die meisten Schwellenländer ein signifikant unterdurchschnittliche "Ausfuhrbelastung" mit umweltintensiven Bereichen (Low und Yeats, 1992). Mit einer gewissen Vorsicht kann man aus diesen Forschungsarbeiten auch einen Trend zur Verlagerung von umweltproblematischen Produktionsbereichen in die weniger entwickelten Länder erkennen. So wird teilweise von einer "Industrieflucht" gesprochen, bei der als Reaktion auf die Verknappung des Gutes Umwelt in den hochentwickelten Ländern "schmutzige Industrien" in die unterentwickelten Länder ausweichen (Low und Yeats, 1992). Ob dies jedoch primär Folge von Lohnkostenunterschieden oder doch von standortrelevanten Umweltschutzvorschriften war, kann gegenwärtig nicht eindeutig beantwortet werden. Dies zeigen auch neuere Untersuchungen für die Bundesrepublik Deutschland (DIW/RWI, 1993). Problematisch wäre es auf alle Fälle, wenn sich die strukturelle Entwicklung der unterentwickelten Länder allein aus komparativen Kostenvorteilen bei den "schmutzigen Industrien" ergeben würde (Siebert, 1991).

Diese Diskussion lenkt neuerdings zwangsläufig die Aufmerksamkeit auf die Frage nach den ökologischen Auswirkungen der Welthandelsinstitutionen (Kulessa, 1992), wobei die Diskussion vor allem unter dem Stichwort "Freihandel und Umweltschutz" stattfindet und bereits das GATT beschäftigt (Kulessa, 1992; Klepper, 1992; Petersmann, 1991). So herrscht vielfach die Befürchtung vor, daß eine Handelsliberalisierung sich mit negativen regionalen und globalen Wohlfahrts- und Umwelteffekten verbindet. Regionale Wohlfahrtseffekte können auftreten, wenn unterentwickelte Länder - bedingt durch die Marktpreis- oder Wechselkursentwicklung und ihren Bedarf an Devisenerwirtschaftung - Güter exportieren müssen, deren gesamtwirtschaftliche Kosten höher sind als der soziale bzw. der gesamtwirtschaftliche Wert der durch die Deviseneinnahmen ermöglichten Importe (El-Shagi, 1992). In

Abhängigkeit von jeweiligen Preiselastizitäten kann es hierbei den höher entwickelten Ländern gelingen, einen Teil der Umweltkosten auf das Ausland abzuwälzen, umgekehrt können unterentwickelte Länder kurz- oder mittelfristig "gezwungen" sein, auf verschärften Umweltschutz zwecks Erhaltung ihrer Handelsposition zu verzichten.

Die Rolle des Tertiärsektors

Der Dienstleistungssektor wird in den hochentwickelten Industrieländern ganz entscheidend das globale wirtschaftliche Geschehen der nächsten Jahrzehnte prägen. Umso überraschender ist es festzustellen, daß über die Umweltimplikationen dieses Entwicklungstrends bis jetzt selbst auf nationaler Ebene nur wenige Kenntnisse vorliegen. Teilweise hat dies mit der Heterogenität dieses Tertiärsektors, der vom Handel über den Verkehr, die Versicherungen, das Beratungswesen, die Verbände, das Bildungs- und Gesundheitswesen, die Organisationen ohne Erwerbscharakter bis hin zum staatlichen Sektor reicht, zu tun, zum anderen liegt dies aber auch an beachtlichen Datendefiziten. Dies gilt insbesondere für die globale Ebene. Darum sollte man, wie bereits einleitend betont wurde, mit der Hypothese von der umweltentlastenden Wirkung des der Entwicklung des Dienstleistungssektors zunächst noch zurückhaltend sein.

Dies wird aus globaler Sicht besonders deutlich, wenn man zwei Beispiele aus diesem Sektor, den Verkehr und den Ferntourismus betrachtet. Diese haben in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Durch die Verkürzung der Arbeitszeit, die Verlängerung des Jahresurlaubs sowie die ansteigende Zahl der altersbedingten Nichterwerbstätigen wächst mit gleichzeitig steigendem Einkommen die konsumtive Reiseaktivität vieler Menschen. Die Anzahl der Spanientouristen ist innerhalb zweier Jahre, von 1986 bis 1988, um 50 %, von 25 auf 38 Mio. Touristen pro Jahr angewachsen. In Italien stieg derr Tourstenstrom im gleichen Zeitraum um 40 %, von 25 auf 35 Mio., und in Griechenland um mehr als 100 %, von 7 auf 16 Mio. (Schneider, 1990). Hinter diesem Prozeß verbirgt sich der Wunsch nach Erholung sowie nach Befriedigung bestimmter Interessen wie Besichtigung von Kunst- und Natur-Denkmälern. Die erstgenannten Erholungsaktivitäten sind zumeist auf eine spezifische Infrastruktur (Hotelbauten, Sportanlagen, Strandgestaltung, Wanderwege usw.) ausgerichtet, für die zweitgenannte Kategorie spielt der Wunsch nach Erleben von Natur, Landschaft, Erfahrung freilebender Tierwelt sowie nach Besichtigung von historischen Denkmälern eine wichtige Rolle (Klockow et al., 1990). Der erholungsorientierte Massentourismus konzentriert sich in der Regel auf bestimmte Regionen und Orte, wobei es aufgrund der infrastrukturellen Vorleistungen sowie der Freizeitaktivitäten zu teilweise gravierenden Eingriffen in die Landschaft kommt. Umgekehrt reagiert auch der Massentourismus bereits sensibel auf Informationen über Beeinträchtigungen im Landschaftsbild bzw. die Qualität der Umweltmedien Wasser und Luft. Noch

sensibler sind die Reaktionen jener Touristen, für die die Qualität des Landschafts- oder Naturerlebnis zum entscheidenden Reiseanlaß wird.

Damit wird die ambivalente Einschätzung der Ferntourismus unter Umweltaspekten sichtbar. Einmal ist er Ursache für gravierende Umweltschäden, die dann von globaler Bedeutung werden, wenn sie sich mit großräumigen Verkehrsbewegungen sowie der Zerstörung der Lebensräume wichtiger Tier- und Pflanzenarten verbinden. Andererseits können spezifische Erscheinungsformen (Ökotourismus in Costa Rica und Indonesien) und die damit zusammenhängenden ökonomischen Effekte Anlaß für ein verstärktes Interesse an der Erhaltung naturnaher Räume bzw. der biologischen Vielfalt werden. Sollte sich im Zeitablauf ein steigendes Umweltbewußtsein, d.h. eine zunehmend kritische Haltung der Erholungssuchenden sowie eine wachsende Sensibilität gegenüber Umweltschäden herausbilden, können sich hieraus durchaus positive Umwelteffekte ergeben. Eine differenzierte Betrachtung und Bewertung der Tourismusaktivitäten erscheint darum sehr wichtig und soll in einem späteren Gutachten erfolgen.

Auswirkungen

Die vorausgegangenen Abschnitte machten deutlich, daß das wirtschaftliche Teilsystem ein komplexes Beziehungsgefüge darstellt, dessen globale Umweltwirkungen nicht nur von seinem globalen Input-, Produktions- und Emissions- bzw. Abfallvolumen (Weltwirtschaft als hochaggregierte Größe), sondern auch von seinem regionalen und sektoralen Erscheinungsbild abhängen. Weiter wurde sichtbar, daß hinter den wirtschaftlichen Aktivitäten auch ein gesellschaftspolitisches Anliegen steht, das aus verschiedenen Gründen (Überwindung von Hunger und Armut, Streben des Menschen nach materieller Unabhängigkeit bzw. Absicherung, soziale Absicherung innerhalb eines institutionellen Rahmens, Erleichterung der anstehenden Verteilungsaufgaben) auch künftighin auf Ausschöpfung aller Expansionsmöglichkeiten drängt, was jede Problemlösung in besonderer Weise erschweren wird. Schließlich wurde deutlich, daß Armut und Umweltbelastung sich gerade in den unterentwickelten Ländern wechselseitig bedingen und wirtschaftliche Entwicklung sowie Umweltentlastung dort darum zumindest temporär Hand in Hand gehen.

Das aus diesen Gründen zu erwartende materielle Wachstum ist unter folgenden Aspekten zu betrachten (Hartje, 1992):

- Implikationen für das Ökosystem bzw. Engpässe auf der Ressourcenseite sowie limitierende Effekte der Senken;
- Schätzung der Kosten des praktizierten bzw. unterlassenen Umweltschutzes bzw. des Nutzens des Umweltschutzes.

Was den erstgenannten Themenkomplex betrifft, so spielen vor allem folgende Faktoren, die sich auch gegenseitig verstärken können, eine wichtige Rolle (Goodland, 1992):

1. Engpässe bei der Produktion von Biomasse,
2. das Risiko eines Klimakollaps,
3. die Verdünnung der Ozonschicht,
4. die Bodendegradierung,
5. der Rückgang der biologischen Vielfalt sowie
6. die vor allem aus regionaler Sicht wichtige Wasserverschmutzung und Wasserknappheit.

Auf die einzelnen Komponenten wird nachfolgend näher eingegangen.

Zu 1:
Der Mensch benötigt für seine Ernährung Biomasse, die nach Ansicht der Verfechter einer "Engpaßhypothese" (Vitousek, 1986; Daly, 1991 und 1992) nicht beliebig vermehrbar ist. So werde gegenwärtig bereits 40 % der Netto-Primärproduktion terrestrischen Photosynthese durch die Humanwirtschaft verbraucht, und es bestünde die Gefahr, daß wegen der Wüstenbildung, des Rückgangs landwirtschaftlicher Nutzfläche, Brandrodung, Erosion usw. das Biomasse-Produktionspotential längerfristig sogar noch abnehme. Angesichts des Bevölkerungswachstums sei auf alle Fälle davon auszugehen, daß in etwa dreißig bis vierzig Jahren 80 % des noch vorhandenen Spielraums und bald danach 100 % desselben ausgeschöpft seien. Hier wird somit in fast klassischer Weise auf eine Inputkomponente Bezug genommen und eine Art ökologische Tragfähigkeit, und zwar vor allem für die vertretbare Zahl von Menschen, definiert. Die Möglichkeit einer Beeinflussung dieser ökologischen Tragfähigkeit wird weitgehend ausgeschlossen.

Engpaßhypothesen, die die Biomassenproduktion betreffen, tauchten - denkt man nur an die Vorstellungen von Thomas Robert Malthus (1766 bis 1834) - im Verlaufe der Geschichte schon häufiger auf, um dann von der effektiven Entwicklung wieder in Frage gestellt zu werden. Primäre Ursache für ihre Infragestellung war weniger die Ausweitung der landwirtschaftlichen Nutzfläche als vielmehr der biologische, organisatorische und technische Fortschritt im Bereich der Agrarproduktion. Auch heute stellt nach Ansicht vieler Experten die fehlende Technologie in semiariden Gebieten ein ernsthaftes Problem dar (Nelson, 1991). Spielraum für eine Ausweitung der Biomassenproduktion eröffnet sich möglicherweise durch die Anwendung kostengünstiger Techniken der Feuchtigkeitskonservierung - etwa Kombination von Konturenanbau, der ein Kammuster auf der Bodenoberfläche bewirkt und Bepflanzung der Konturen mit Vetivergras in dichter Reihe bzw. der Bildung von Steinreihen. Es zeigte sich auch in den letzten Jahren, daß durch den Anbau bewässerungsabhängiger Hochertragssorten von Reis und anderen Getreidesorten viele asiatische Nationen von Nahrungsmittelimporteuren zu Überschußproduzenten wurden (Barghouti und Moigne, 1991). In Nigeria wurden mit Erfolg neue Verfahren der Bodenkonservierung in die Cassavaproduktion eingeführt. Von diesem Anbauprodukt ernähren sich immerhin 600 Mio. Menschen (Blake,

1992). Diese und andere Beispiele sind noch kein ausreichender Beweis für die Entkräftung der Biomassen-Engpaßhypothese. Sie zeigen aber, daß die Chance ihrer Milderung besteht, so daß in den Entwicklungsländern durchaus Möglichkeiten für eine Ausweitung der Ernährungsbasis gegeben sind.

Zu 2:
Während bei der eben behandelten Engpaßkomponente neben der begrenzt nutzbaren Agrarfläche vor allem die Bevölkerungsentwicklung als Verursachungsgröße in den Mittelpunkt rückte, stehen bei der Weltklimafrage eindeutig die Folgen eines bestimmten wirtschaftlichen (Durchfluß-) Wachstums im Vordergrund, wobei es vor allem um die begrenzte Aufnahmefähigkeit bzw. Assimilationskapazität unseres globalen Ökosystems für bestimmte Schadstoffe, d.h. die Senkenproblematik, geht. Auf die Frage, ob diese Senkenproblematik ausreicht, um Aussagen über noch bestehende Wachstumsperspektiven zu machen, wird im Abschnitt Bewertung näher eingegangen.

Die vom Menschen veränderten Treibhausgase sind Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Ozon (O_3) und Lachgas (N_2O) sowie die neu hinzugefügten Fluorkohlenwasserstoffe (FCKW). Hier ist nach Ansicht des Beirats die kritische Aufnahmekapazität bereits überschritten und es besteht angesichts der zu erwartenden Folgen Handlungsbedarf. Als solche Folgen werden vor allem genannt:

- der Anstieg des Meeresspiegels um etwa 65 ± 35 cm im Jahre 2100, falls keine Gegenmaßnahmen getroffen werden,

- sich häufende extreme Wetterereignisse (Wirbelstürme und Wolkenbrüche),

- die Verschiebung der Niederschlagszonen und damit verknüpft Verschiebung der Vegetations- und Anbauzonen, mit der Gefahr großer Wanderungsbewegungen.

Die Verursacher des CO_2-Anstiegs sind bekannt. Man weiß, daß bei Realisierung der gegenwärtigen Entwicklungstrends im Jahre 2000 etwa 35 % aller CO_2-Emissionen aus Ost-Europa, ca. 25 % aus den Entwicklungsländern und ca. 40 % aus den hochentwickelten Volkswirtschaften stammen werden, wobei in den unterentwickelten Ländern den Haushalten und Kleinverbrauchern, in Osteuropa der Elektrizitätserzeugung und Industrie und in den hochentwickelten Nationen der Elektrizitätserzeugung sowie dem Verkehr unter Verursachungsüberlegungen primäres Gewicht eingeräumt werden muß (RWI, 1993). Die Landwirtschaft trägt mit ihren Emissionen weltweit mit 15-17 % zum erhöhten Treibhauseffekt bei (Armbruster und Weber, 1991; Burdick, 1991; Ashford, 1991).

Schwieriger sind die regionalen Folgen zu bestimmen. Bereits die Ableitung der direkten Folgen für die Umwelt im Falle eines Meeresspiegelanstiegs ist umstritten, noch schwieriger sind die Implikationen der zu erwartenden Verschiebungen von Klimazonen zu vorherzusehen. Besondere Probleme bereitet die Überführung dieser Effekte in ökonomische Größen, d.h. in DM oder Dollar. Zumeist arbeitet man mit dem nicht unproblematischen Vermeidungskostenansatz und gelangt dann zu volkswirtschaftlichen Kosten in einer Spannbreite zwischen 0,04 und 1 % des weltweiten Bruttoinlandprodukts (Weltbank, 1992a; Masuhr et al., 1992). Hier besteht aber noch Forschungsbedarf.

Probleme verbinden sich aber auch mit dem Schadenskostenansatz. Er verlangt vor allem eine starke Regionalisierung der Folgeeffekte. Nur so ist es möglich, regionale Schäden (Ernteausfälle, Einkommensverluste, Produktivitätsminderung usw.) zu bestimmen. Hinzu kommt, daß es nicht nur Geschädigte, sondern - etwa bei der Verschiebung der Klimazonen - auch Begünstigte geben kann. Hier wird man wohl kaum eine Saldierung zulassen können. Offen ist auch, wie man die Migrationseffekte bewerten soll. Sie können großes Ausmaß annehmen, sprechen doch viele Gründe dafür, daß vor allem die bevölkerungsreichen Entwicklungsländer betroffen sein werden. Will man schließlich einen Vergleich mit den Ergebnissen der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen anstellen, müßte mit der Zahlungsbereitsschaftsanalyse gearbeitet werden (Junkernheinrich und Klemmer, 1992).

Da es sich um künftige Folgen handelt, taucht auch die Frage auf, mit welcher Rate (Diskontrate) zukünftige Nettoerträge in ihren gegenwärtigen Wert umgewandelt werden sollen. Cline (1992 und 1993) empfiehlt eine 2-%ige Diskontrate, andere wie das Office of Management and Budget präferieren eine inflationsbereinigte Rate von 10 % pro Jahr. Je niedriger die Diskontrate ist, desto eher ist eine konsequente Klimaschutzpolitik möglich. Der Beirat hält eine apodiktische Festlegung einer bestimmten Höhe von Schadens- oder Vermeidungskosten nicht für sinnvoll; er ist aber der Auffassung, daß bereits die vorliegenden Folgeanalysen ausreichen, um politisches Handeln zur Bewältigung des Klimaproblems zu begründen.

Zu 3:

Erhöhte UV-B-Strahlung als Folge der Verdünnung der Ozonschicht wird vor allem von den chlorhaltigen FCKW-Bruchstücken in der Stratosphäre verursacht. Die Schätzungen über das quantitative Ausmaß dieser Schädigungen gehen jedoch noch auseinander (siehe 1.1.2). Inwieweit der Ersatzstoff für die FCKW, z.B. R 134a, keine globalen Umweltprobleme verursachen, wird noch kontrovers diskutiert. Kritiker machen vor allem darauf aufmerksam, daß deren Treibhauspotential hoch ist. Wohlfahrtsschätzungen, die mit dem Schadenskostenansatz oder sogar mit der Zahlungsbereitschaft arbeiten müßten, liegen bis jetzt nicht vor.

Zu 4 und 5:
Während die Behandlung der drei eben genannten Wirkungs- und Engpaßkomponenten in vielen Fällen zu Schätzungs-, teilweise sogar zu Bewertungsversuchen führte, muß die Diskussion um die Größenordnung der globalen Bodendegradierung, die hierdurch induzierte Produktivitätsabsenkung im Bereich der Landwirtschaft oder die Erosions-, Versalzungs- und Wüstenbildungseffekte noch als weitgehend offen bezeichnet werden. Teilweise werden jährliche Bodenverlustraten von zwischen 10 und 100 Tonnen je Hektar genannt oder von einer jährlichen Versalzung oder Versumpfung von möglicherweise 6 Mio. Hektar gesprochen (Pimental et al., 1987; Goodland, 1992). Nach ersten Schätzungen betrug die in starkem Maße der Landwirtschaft anlastbare Entwaldungsrate im letzten Jahrzehnt 0,9 % jährlich, wobei Asien aufgrund seiner höheren Bevölkerungsdichte und seiner Bevölkerungsentwicklung mit 1,2 % eine höhere Entwaldungsrate aufwies als Schwarzafrika mit 0,8 % (Weltbank, 1992a). Immerhin sind aber bereits während der 80er Jahre die Wälder Afrikas um 8 % zurückgegangen. Die Weltbank schätzt, was die Bodenverschlechterung betrifft, die hieraus resultierenden Einbußen an Flächenproduktivität auf tropischen Böden auf 0,5 bis 1,5 % des Bruttososzialprodukts dieser Länder (Weltbank, 1992a). Noch schwieriger wird es, die Effekte des Verlusts der biologischen Vielfalt zu bestimmen. Quantifizierungsversuche, wie sie etwa Hampicke (1992) beispielhaft für die alten Bundesländer vornahm sind auf globaler Ebene zur Zeit noch nicht zu finden.

Zu 6:
In vielen neueren Studien wird die Wasserverschmutzung bzw. die Wasserverknappung als ernstzunehmendes globales Umweltproblem herausgestellt. Dies ist jedoch umstritten, da nicht erkennbar ist, inwieweit regionale Belastungs- und Engpaßeffekte, läßt man einmal die hierdurch ausgelösten Wanderungsreaktionen außer acht, echte globale Auswirkungen haben. Es trifft aber zu, daß direkt und indirekt diese Verschmutzung bzw. Verknappung Folge wirtschaftlicher Gegebenheiten ist, wobei vor allem auf den Zusammenhang von Bevölkerungsentwicklung, Bevölkerungsverdichtung, Unterentwicklung und Umweltbelastung hingewiesen werden muß. Insbesondere Armut und Unterentwicklung führen in beachtlicher Weise zu Defiziten in der Wasserver- und -entsorgung sowie sogar manchmal - etwa bei kostenlosem Wasserangebot oder subventionierten Preisen - zur Wasservergeudung.

Die hierdurch induzierten Effekte sind beachtlich, jedoch noch primär von regionaler Bedeutung. Die Wasserverschmutzung könnte jedoch zu einer globalen Frage werden. So verfügen rund 1,7 Mrd. Menschen über keine sanitären Einrichtungen, was das Auftreten von Durchfallserkrankungen - ca. 900 Mio. Fälle pro Jahr (Weltbank, 1992a) - sowie das großräumige Ausbreiten von Cholera, Typhus und Paratyphus begünstigt. Nach Schätzungen der Weltbank

muß man gegenwärtig über 2 Mio. Sterbefälle und Milliarden Krankheitsfälle pro Jahr der Wasserverschmutzung zurechnen, teilweise kommt es auch zu Beschränkungen der Wirtschaftsaktivitäten bedingt durch Wasserknappheit (Weltbank, 1992a), d.h. Wasser wird zum regionalen Engpaßfaktor. Geht man z.B. von der üblichen Normgröße von 1000 Kubikmeter erneuerbarer Wasserressource je Kopf aus, herrscht bereits in 22 Ländern der Erde Wassermangel, weitere 22 erscheinen gefährdet, wobei sich die Mehrzahl dieser Länder auf den Nahen Osten, Nordafrika und das Subsaharagebiet konzentriert (Weltbank, 1992a). Versuche der Monetarisierung dieser Schäden sind noch selten.

Bewertung

Die bisherigen Ausführungen haben deutlich gemacht, daß das Teilsystem Wirtschaft ebenso wie die Bevölkerungsentwicklung in zentraler Weise für die globalen Umweltveränderungen verantwortlich ist und die bisherige Form des Wirtschaftens unter globalen Aspekten einen kritischen Punkt erreicht hat, der keine "Entwicklungs-Nachhaltigkeit" mehr verspricht. Mit anderen Worten: Kommt es nicht zu einem entscheidenden Kurswechsel, läuft die menschliche Gesellschaft Gefahr, ihr "natürliches Kapital" zu Lasten nachfolgender Generationen, die angesichts der Entwicklung der Weltbevölkerung vor allem in den Entwicklungsländern geboren werden, aufzuzehren. Insofern ist auch der Beirat der Überzeugung, daß eine gewaltige Umstrukturierung des wirtschaftlichen Teilsystems ansteht, von der noch keineswegs gesichert ist, ob sie auch bewältigt werden kann. Möglich ist hierbei, daß das ökonomische System anpassungsfähiger ist als das gesellschaftliche, und daß die Hauptprobleme in den gesellschaftlichen Anpassungswiderständen gesehen werden müssen. Erhöhung des Umweltbewußtseins, Verbesserung der gesellschaftlichen Lernfähigkeit und umweltgerechtes individuelles bzw. gesellschaftliches Handeln sind darum in besonderem Maße gefordert.

Primäre Aufgabe dieses ersten Gutachtens ist, wie bereits ausführlich erläutert wurde, die Analyse der wechselseitigen Zusammenhänge zwischen den menschlichen Aktivitäten und den globalen Umweltaspekten. Die Frage nach den aus dieser Analyse zu ziehenden Schlußfolgerungen und den politischen Empfehlungen wird der Beirat in einem späteren Gutachten tiefergehend beantworten. Trotzdem sollen an dieser Stelle einige grundlegende Aspekte angesprochen werden. Sie betreffen die Fragen

1. in welche Richtung die Art des Wirtschaftens zu beeinflussen ist,
2. welches Umweltinformationssystem für die Bewältigung dieser Aufgabe benötigt wird,
3. was getan werden muß, um das krasse Nord-Süd-Wohlstandsgefälle auf der Welt schneller zu überwinden,
4. ob überhaupt noch ein Wachstumsspielraum besteht.

Zu 1:

Versucht man zunächst eine Antwort auf die erste Frage unter Bezug auf das grob skizzierbare Leitbild einer "nachhaltigen Wirtschaftsentwicklung", so besteht weitgehend Einigkeit darüber, daß das bisherige materialintensive Durchflußwachstum geändert werden muß. Soll es nicht - schon allein aus dem Entwicklungsinteresse der Entwicklungsländer heraus - zu einer die gesellschaftlichen Spannungen verschärfenden Reduktion des globalen Wachstumsspielraums kommen, muß tendenziell eine Steigerung der Ressourceneffizienz und der Abfallminderung, letzteres etwa über eine Abfallvermeidung oder über eine Kreislaufschließung der Wirtschaft, herbeigeführt werden. Viele sprechen sogar von einer notwendigen "Effizienzrevolution", die sie mit einer entschiedenen Dematerialisierung der Produktion, einer Reduzierung der Stoffflüsse, einer ökologischen Produktgestaltung (Ökodesign) und insbesondere mit einer Steigerung der Energieproduktivität gleichsetzen. Gefordert wird dabei eine Ausschöpfung aller (technisch möglichen) Einsparungspotentiale sowie eine aktive Strukturpolitik, die über einen"ökologischen Strukturwandel" eine Entkopplung von Einkommenswachstum und Umweltbelastung bewirken soll.

Hinzu tritt manchmal noch der Wunsch nach einer "Suffizienzrevolution", d.h. nach einem neuen Lebensstil in Form einer "neuen Genügsamkeit", eines Verzichts auf Konsumwachstum oder des Abbaus des energieintensiven Güterverbrauchs. Damit wird deutlich, daß die Leitbildkonkretisierung mit einigen gravierenden normativen Festlegungen verbunden ist - etwa der Definition der "Angemessenheit" bestimmter Konsumaktivitäten, der Definition von Begriffen wie "Verschwendung" oder "Vergeudung" und der Anerkennung des Anliegens der Ressourceneinsparung um ihrer selbst willen. Diese Fragen werden zur Zeit noch sehr kontrovers behandelt, so daß der Beirat zunächst von einer Positionsfestlegung Abstand nehmen möchte.

Einigkeit besteht aber darüber, daß vor allem die Behandlung der erneuerbaren Ressourcen doch schon Operationalisierungen zuläßt. Gibt es nämlich Grenzen der Belastbarkeit von Ökosystemen, die - wenn sie nicht beachtet werden - zu nicht akzeptablen ökologischen Folgekosten (etwa Klimakatastrophe) oder zu einem Zusammenbruch der Leistungsfähigkeit dieser Ökosysteme (etwa verminderte Reinigungskapazität von Fließgewässern oder abnehmende Ertragskraft von Böden aufgrund Degradierung) führen und damit auch den Interessen künftiger Generationen zuwiderlaufen, kann man maximale Nutzungen oder Emissionen festlegen und darauf hinwirken, daß die Wirtschaft diese Randbedingungen einhält. Ein typisches Beispiel ist die Klimakonvention von Rio de Janeiro, die über ihren Abschnitt 2 die Ableitung einer maximalen Emissionsmenge von CO_2 vorsieht und damit eine für die künftige Wirtschaftsentwicklung relevante und mindestens einzuhaltende Nebenbedingung umschreibt. Der Beirat ist daher der Auffassung, daß die Politik gefordert ist, diesen Aspekt nachhaltiger Wirtschaftsentwicklung möglichst schnell

umzusetzen. Daraus ergibt die Frage nach den Umsetzungsstrategien, worauf später einzugehen sein wird.

Zu 2:
Akzeptiert man die These, daß nachhaltige Wirtschaftsentwicklung teilweise über die begrenzte Deponierungskapazität von Ökosystemen oder - was noch besser ist - über die Erhaltung der Leistungsfähigkeit von Ökosystemen, d.h. den Erhalt der erneuerbaren Ressourcen definiert werden kann, lassen sich auch Schlußfolgerungen bezüglich des Ausbaus eines ökonomisch ausgerichteten Umweltinformationsystems ziehen. Sie müssen dann nämlich nicht nur global orientiert sein, sondern vor allem eine Umwelt-Vermögensrechnung aufweisen. Nachhaltigkeit bedeutet dann den Erhalt des "ökologischen Realkapitals". So wie eine Gesellschaft gut beraten ist, auf einen Abbau ihres "künstlichen Realkapitals" (Realvermögen der Volkswirtschaft) zu verzichten, da sie sonst von ihrer Sustanz leben würde, muß sie auch in einem längerfristigen Interesse ihr ökologisches Realkapital aufrechterhalten. Dies setzt jedoch eine Vermögensrechnung voraus. Insofern unterstützt der Beirat explizit die laufenden Bemühungen um die Entwicklung einer Umweltökonomischen Gesamtrechnung, fordert aber, daß diese sich nicht nur auf die Korrektur der Stromgrößen (wie etwa Kosten oder Umsatz) um ökologische Belange (sog. Ökosozialprodukt) sowie die Entwicklung nationaler Systeme volkswirtschaftlicher Buchhaltung konzentrieren darf, sondern möglichst bald zu einer globalen Vermögensrechnung übergehen sollte. In einem späteren Gutachten wird unter Berücksichtigung der gegenwärtig laufenden Arbeiten, z.B. des Umweltökonomischen Beirats beim Statistischen Bundesamt und entsprechender Gremien der UNO, dieses Thema nochmals aufgriffen.

Zu 3:
Die Konferenz von Rio de Janeiro hat weiterhin gezeigt, daß Umwelt und Entwicklung zwei eng miteinander verknüpfte Themen sind. Mit anderen Worten: Nicht nur die Interessen der Natur oder künftiger Generationen, auch die Interessen der heute Notleidenden sind zu berücksichtigen. Dies muß immer noch in starkem Maße über finanzielle Transaktionen sowie einen Technologietransfer geschehen. Insofern muß es auch Änderungen im Bereich der Entwicklungshilfe geben. So plädiert der Beirat für eine Aufstockung dieser Mittel und ist der Auffassung, daß angesichts der weltweiten Wohlstandsdisparität durchaus ein Anteil der Entwicklungshilfe am Bruttosozialprodukt in der Größenordnung von 1 % wünschenswert erscheint. Die Hilfestellungen der Bundesrepublik Deutschlands für Osteuropa sollten hierbei ganz oder teilweise angerechnet werden, da sich viele dieser Länder in einer schwierigen wirtschaftlichen Situation (häufig vergleichbar mit jener der Entwicklungsländer) befinden und eine Sanierung der dort häufig mit geringer Ressourceneffizienz arbeitenden Anlagen auch in globaler Hinsicht umweltentlastend wirkt. Spielraum besteht aber auch für eine Effizienzsteigerung der Entwicklungshilfe selbst. So gäbe es durchaus die Möglichkeit, die Mittel auf

die oben beschriebenen Länder, die auch Entwicklungsaspekte berücksichtigen, quotenmäßig aufzuteilen, um dann innerhalb dieser Gruppen - zumindest für einen Teil der quotierten Mittel - eine Ausschreibung vorzunehmen, bei der Wert auf die Berücksichtigung umweltpolitischer Belange gelegt werden könnte. Hinzu kommen müßte ein globaler Tropenwaldfonds auf der Basis eines weltweiten Kooperationsvertrages, der finanziell vor allem von den höher entwickelten Industrieländern getragen werden sollte (Scheube, 1993).

Zu 4:
Gibt es aber überhaupt noch Wachstums- oder Entwicklungsspielräume ? Die Beantwortung dieser wichtigen Frage bereitet einige Schwierigkeiten. Auch die Weltmodelle vermögen hierüber nur bedingt Auskunft zu geben. Sie informieren eher über jene Probleme, die bei Beibehaltung der bisherigen Form des Wirtschaftens bzw. bei ihrer Übertragung auf alle Länder dieser Erde zu erwarten sind. Sie vermögen jedoch nicht den technischen Fortschritt oder Substitutionsprozesse selbst zu prognostizieren. Manches spricht dafür, daß wir an Grenzen stoßen oder sie bereits überschritten haben, eine genaue Grenzfestlegung ist aber schwierig. Selbst die von einigen Ökonomen (etwa Georgescu-Roegen, 1971 und 1976) formulierte Hypothese, wonach jedes globale Wirtschaftswachstum längerfristig aufgrund des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik in einer Art "Entropiemeer", d.h. im Zustand "materieller Unordnung" enden muß, bedarf einer differenzierten Betrachtung (Nicolis und Prigogine, 1977 und 1989; Haken, 1978; Kafka, 1989).

Trotzdem ist die Frage ernst zu nehmen, ob nicht doch dem Energie- oder Senkenproblem wachstumsbegrenzende Wirkung zukommt. Hierauf soll eine erste klärende Antwort versucht werden. Es stimmt in der Tat, daß die anthropogene Energieerzeugung sowohl eine entscheidende Rolle spielt als auch zu dem das wirtschaftliche Wachstum gewährleistenden Medium und manchmal sogar zu dessen Motor wirtschaftlichen Wachstums ("engine of growth") wurde. War der Mensch bis zur beginnenden Industrialisierung noch weitgehend in den natürlichen Photosyntheseprozeß eingebunden, hat er sich heute mit einer anthropogenen Energieerzeugung von etwa 11 Terawatt pro Jahr von diesem weitgehend abgekoppelt (Seifritz, 1993). Dies geschah insbesondere durch die Erschließung immer neuer fossiler Energievorräte. Jegliche Form des wirtschaftlichen Wachstums bzw. der mit diesem verbundenen Güterproduktions-, -verteilungs- und -verwendungsprozesse war und ist darum mit einem Einsatz bzw. einer Transformation natürlicher Ressourcen verbunden. Während es bei vielen Ressourcen gelang, über Substitutionsprozesse auf immer weitere Vorräte zurückzugreifen, ist die Abhängigkeit von der Energieerzeugung sogar noch gestiegen. Daran haben auch alle neueren Versuche, Energieverbrauch und wirtschaftliches Wachstum zu entkoppeln, nichts Wesentliches geändert. Insbesondere wurde in den hochentwickelten Ländern teure Arbeit durch energieintensive Verfahren ersetzt. Heute verbrennt die

Menschheit darum pro Tag mehr fossile Energieträger, als in 1.000 Jahren entstanden sind (BMFT, 1992b).

Die anthropogen erzeugte Energie wird hierbei selbst nicht verbraucht, sondern nur von einer hochwertigen in eine niederwertige Erscheinungsform (Exergieextraktion) umgewandelt. Insofern kann diese Form des bislang dominierenden Wirtschaftswachstums, wie es sich in den vier zurückliegenden "Kontradieffschen Zyklen" abspielte, zu Recht als "Durchflußwachstum" bezeichnet werden. Ein solches Durchflußwachstum ist in der Tat dann problematisch, wenn entweder

- die Energievorräte zu Ende gehen und keine Substitutionsmöglichkeit dieses Engpaßfaktors besteht, und/oder
- die Deponierungskapazität für den "Abfall" dieser Form des Wirtschaftens erschöpft ist bzw. ohne Gefährdung der Menschheit nicht mehr erweitert werden kann.

Was diesen "Abfall" betrifft, so ist es nicht die Abwärme, die zum besonderen Problem wird, sondern der CO_2-Eintrag in die Erdatmosphäre. Während die Abwärme abgestrahlt werden kann, kann eine weitere Deponierung von Kohlendioxid in der Erdatmosphäre eine Änderung des Weltklimas bewirken. Mit anderen Worten: Es ist nicht die Erschöpfung der endlichen Vorräte an fossilen Energieträgern, die zum Engpaßfaktor wird, sondern das Senkenproblem des CO_2. Inzwischen verbrennen nämlich 5,8 Mrd. Menschen jährlich etwa 5,9 Mrd. Kohlenstoff zu 22 Mrd. Tonnen Kohlendioxid. Ein solcher Eintrag ist aber, wie oben gezeigt werden konnte, mit so hohen ökologischen Risiken verbunden, daß er nicht weiter hingenommen werden kann.

Eine Begrenzung dieses Eintrags ist grundsätzlich nur möglich, wenn
- es zur Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch kommt,
- sich das Wirtschaftswachstum selbst begrenzen läßt,
- ein neues kohlenstofffreies Energiesystem zur Verfügung steht oder
- sich neue technische Möglichkeiten für eine klimaneutrale Nutzung der fossilen Brennstoffe auftun.

Eine Entkopplung von Energieverbrauch und Wirtschaftswachstum erscheint gegenwärtig kaum möglich, Spielraum für eine relative Entkopplung ist aber noch vorhanden. Angesichts des weltweiten Bevölkerungswachstums und des damit verbundenen Energiemehrbedarfs reicht die absehbare Steigerung der Energieeffizienz möglicherweise aber nicht aus, um den CO_2-Eintrag in ausreichendem Maße zu begrenzen, so daß vielfach für eine Politik der Wachstumsbegrenzung in Verbindung mit einer Ausschöpfung aller Möglichkeiten einer Steigerung der Energieeffizienz sowie des Energiesparens plädiert wird. Dafür spricht nach Ansicht der Befürworter einer solchen Politik

auch, daß es kurzfristig kaum möglich erscheint, in ausreichendem Maße auf kohlenstoffreie Energiesysteme zurückzugreifen. Dies wären regenerative Energiequellen (Wasser, Wind, Biomasse), Wasserkraft, Photovoltaik oder Kernfusion. Deren Zukunftsperspektiven sind noch unsicher und/oder mit einem hohen Kapital- und Zeitaufwand verbunden.

Sind staatlich forciertes Energiesparen, Ausschöpfen aller technischen Handlungsspielräume zur Steigerung der Energieeffizienz sowie Energievermeidung bzw. Wachstumsbegrenzung dann noch die einzigen kurzfristig zur Verfügung stehenden Möglichkeiten? Diese Frage, die von vielen bejaht wird, ist nach Ansicht des Beirats doch vorsichtiger anzugehen. Bislang hat es nur wenig ökonomische Anreize für einen grundlegenden Wandel unserer bisherigen Wirtschaftsweise gegeben, die Entwicklung der relativen Preise legte sogar eine energieintensive Produktions- und Konsumtionsweise nahe, das CO_2-Senken-Problem war aufgrund fehlender Verfügungsrechte über die Deponierungsspielräume kaum preiswirksam, und auch die Suche nach kohlenstofffreien Energiesystemen erschien zumindest aus einzelwirtschaftlicher Sicht kaum erforderlich. Insofern kommt der instrumentalen Ausgestaltung einer nationalen und internationalen Umweltpolitik größte Bedeutung zu.

Bevor hierauf eingegangen wird, muß aber betont werden, daß auch noch die grundsätzliche Möglichkeit einer CO_2-Endlagerstrategie besteht. Sie ist zumindest, wie neuere Untersuchungen zeigen (Seifritz, 1993), nicht auszuschließen. Gedacht wird dabei an künstliche CO_2-Lager, an eine Deponierung in den Meerestiefen oder an terrestrische Trockeneislager. Die Frage der verschiedenen Möglichkeiten soll hier nicht ausdiskutiert werden, wichtig ist nur, daß durchaus theoretische Lösungen bestehen, die eine Atempause für die Schaffung eines funktionsfähigen kohlenstofffreien Energiesystems gewähren könnten. Es fehlen allerdings noch die ökonomischen Anreize, sich näher mit der Ausreifung und Umsetzung solcher Überlegungen zu beschäftigen. Dies verlangt darum nach einem Vorgehen, welches nicht einseitig der Wirtschaft Handlungsanweisungen gibt, sondern sich als eine Verbesserung des gesamtgesellschaftlichen und globalen Suchprozesses darstellt.

Politikkonzept

Handlungsbedarf

Damit gelangt man wiederum zu der bereits oben angesprochenen Grundsatzfrage, wie der Wandel der Wirtschaft hin zu einem Entwicklungspfad, der "Nachhaltigkeit" verspricht, realisiert werden kann. Muß er vom Staat vorgegeben und dann durchgesetzt werden oder reicht es aus, Rahmenbedingungen zu setzen und die Beantwortung dieser Frage einem gesellschaftlichen Suchprozeß zu überantworten ? Bevorzugt man die letztgenannte Strategie, müssen sich die staatlichen Anstrengungen auf die Verbesserung der Organisation des Suchprozesses konzentrieren, wobei der Marktwirtschaft als derartige Organisation eines Suchprozesses große Bedeutung zukommt. Es ist aber unüber-

sehbar, daß wir es hier mit einem Fragenkomplex zu tun haben, der teilweise sehr kontrovers beantwortet wird. Es mischen sich ideologische Positionen mit divergierenden Einschätzungen über die Leistungsfähigkeit des Marktes. Fest steht auch, daß es in der Realität nicht nur ein Markt-, sondern auch ein Politikversagen gibt. Auch die Meinungsbildung im Beirat ist hierüber noch nicht abgeschlossen.

Etwas überspitzt formuliert kann man - was die eben angesprochenen strategischen Schlußfolgerungen betrifft - aber auch schon jetzt zwei Politikrichtungen (Klemmer, 1993) unterscheiden:

1. Ein Politikansatz, der - vielfach unter Bezugnahme auf Modellanalysen - sich um eine explizite Modifizierung des anzustrebenden Entwicklungspfades bemüht, diese Operationalisierungsaufgabe zumeist dem Staat überträgt, wobei häufig die Ausschöpfung aller Ressourceneinsparungs- und Kreislaufschließungsmöglichkeiten um ihrer selbst willen zum eigenständigen Ziel erhoben und vor allem von den höher entwickelten Ländern in diesem Sinne vorbildhaftes Wirtschaften gefordert wird. Zu diesem Zweck will man über den expliziten und gezielten Einsatz des gesamten Instrumentariums des Ordnungsrechts, der ökonomischen Anreize (insbesondere Abgaben und Umweltsteuern) sowie des Planungsrechts gezielt auf die Wirtschaftsstruktur Einfluß nehmen und diese Wirtschaft zur Abkehr von einer ressourcen- und deponierungsaufwendigen sowie risikobehafteten Wirtschaftsform hin zu einer ressourcensparenden, risikomindernden und den Kreislaufgedanken bevorzugenden Art des Handelns bringen. Da man neuerdings sieht, daß das Ordnungsrecht in vielen Ländern weitgehend ausgeschöpft ist, plädiert man in starkem Maße für eine generelle Verteuerung des Ressourceneinsatzes und des Abfallweges. Im Grunde steht hier eine interventionistische Wirtschafts- und Gesellschaftspolitik im Vordergrund, die sich am technisch Möglichen, aber auch an der "Angemessenheit" des Konsums orientiert. Letzteres impliziert im Extrem einen Eingriff in die Konsumentenfreiheit, die über Einzelinterventionen (etwa Verbot des Drogenkonsums und FCKW-haltiger Produkte) weit hinausgeht.

2. Ein zweiter Politikansatz verzichtet auf die quantifizierte Vorgabe eines anzustrebenden Leitbildes und überläßt die erfolgreiche Anpassung an die ökologische Knappheit den Wirtschaftseinheiten selbst. Dem Staat kommt dann nur noch die Aufgabe zu, die "Knappheit" festzulegen und Rahmenbedingungen zu setzen. Dahinter steht die Auffassung, daß die Zukunft nur bedingt erfaßbar ist und kein Mensch um die künftigen Bedarfe, Risiken und Handlungsmöglichkeiten ausreichend Bescheid weiß. Mit anderen Worten: Man versteht die zu bewältigende Aufgabe als die effiziente Organisation eines Suchprozesses, dessen Ergebnis selbst noch unbekannt ist. Der Staat muß bei diesem Ansatz primär dafür Sorge tra-

gen, daß sämtliche Folgekosten individuellen Handelns preiswirksam (d.h. internalisiert) werden, den Individuen dann aber Spielraum für eine möglichst schnelle Anpassung an diese Knappheitsinformationen belassen. Dort wo aufgrund der Kollektivguteigenschaften (mangelndes Ausschlußprinzip, Schwarzfahrerproblem) eines Umweltgutes (etwa der Erdatmosphäre als CO_2-Senke) die Gefahr der Übernutzung (Allmendegut) und des Entstehens gesellschaftlich nicht mehr akzeptierter Folgekosten besteht, muß der Staat unter Bezugnahme auf naturwissenschaftliche Erkenntnisse die maximal nutzbare Menge festlegen.

Die Internalisierung aller Folgekosten erscheint als eine besonders wichtige Aufgabe. Nur sie schafft jene "ökologische Wahrheit" der Preise, die über staatliche Abgabensetzungen in der Regel nicht zu erreichen ist. Für diese Internalisierung reichen zumeist Änderungen wichtiger Rahmenbedingungen (etwa Verschärfung des Haftungsrechtes, Zuweisung von Eigentumsrechten, Abbau einer problematischen Subventionierung usw.) aus. Mit anderen Worten: Dort wo kein explizites Marktversagen (wie etwa beim Kollektivgut Tropenwald) vorliegt, reicht es zumeist aus, darauf hinzuwirken, daß die sich selbst bildenden Preise die ökologische Knappheitssituation besser zum Ausdruck bringen. Dies ist etwas anderes als die - läßt man einmal die "Pigou"-Steuer außer acht - Strategie, über staatlich gesetzte Ressourcen- oder Energiesteuern bzw. Abfallabgaben den Ressourceneinsatz oder das Abfallaufkommen generell zu verteuern, um die Wirtschaft zur kontinuierlichen Steigerung der Effizienz zu zwingen. Besteht doch dort stets die Gefahr, daß dieser Interventionismus auf Gruppeninteressen oder Wahlen Rücksicht nehmen muß und darum ökologisch ineffizient und ökonomisch zu teuer ausfallen wird. Man kann diesen zweiten Politikansatz auch als ordnungspolitisch geprägten Ansatz bezeichnen.

Bei der Entscheidung darüber, welchem der beiden Ansätze man zuneigen soll, ist neben ordnungspolitischen Aspekten zu berücksichtigen, daß auf der globalen Ebene wichtige Besonderheiten herrschen. So fehlt eine Art "Weltregierung", die Ordnungsrecht zu setzen und seine Einhaltung zu gewährleisten vermag. Auch weltweite Abgaben sind schwer durchzusetzen, da dies in die Einnahmeautonomie der Nationen eingreift und auch die Preiselastizitäten in Abhängigkeit vom jeweiligen Durchschnittseinkommen divergieren. Die Mittelverteilung solchermaßen gespeister Fonds wird wegen der divergierenden Interessen stets umstritten sein, und alles bedarf des Instruments der Konventionen (international vereinbarter Normen). Insofern wird jenen Lösungen, die Handlungsautonomie gewährleisten und eine Umweltorientierung über ökonomische Anreize versuchen, zwangsläufig große Bedeutung zukommen müssen.

Beschreitet man den Weg der globalen Organisation eines Suchprozesses, so muß vor allem eine Einigung über wichtige Rahmenbedingungen erzielt werden. Es sind dies:

1. *Die Zuweisung von klaren Eigentumsrechten an den natürlichen Ressourcen*
   Bei vielen natürlichen Ressourcen haben wir es mit Allmendegütern zu tun, die der gemeinschaftlichen Nutzung zur Verfügung stehen oder dem Staat gehören, der seine Eigentumsrechte nicht geltend machen will bzw. vielfach nicht kann. Die Erfahrung zeigt, daß in solchen Fällen stets die Gefahr der unkontrollierten Übernutzung oder Fehlnutzung (Allmendegüter) besteht. Hierbei wird die Verstaatlichung häufig als Hauptursache für das Vordringen des Raubbaus, der Waldreduktion oder der Bodendegradierung genannt und auf die positiven Erfahrungen verwiesen, die man mit der Übertragung von klaren Nutzungsrechten (etwa in Costa Rica, Neuseeland, Thailand oder Kenia) oder der Schaffung förmlicher Rechtsnormen für das gemeinschaftliche Bodeneigentum (etwa in Burkina Faso) gemacht hat (Weltbank, 1992a). Der Erwerb von Eigentumsrechten etwa an Resten des zu schützenden Tropenwaldes kann auch über Naturschutzverbände, die sich international über Spenden oder Mitgliedsbeiträge finanzieren, erfolgen (z.B. in Form von "debt for nature swaps").

   Eigentumsrechte können aber auch Nutzungsrechte von Umweltgütern betreffen, die bislang überhaupt keine eindeutig definierten "Eigentümer" kannten. Dies ist etwa dann der Fall, wenn es darum geht, einen Nutzungsspielraum (in diesem Fall auch Mengenpolitik) - etwa der Erdatmosphäre für den CO_2-Eintrag - zu definieren und anschließend eigentumsrechtlich zuzuweisen. Dies verlangt eine internationale Vereinbarung über die maximale Emissionsmenge und über die Erstzuweisung der Rechte an dieser Menge. Hierauf soll später noch kurz eingegangen werden.

2. *Die Beseitigung von den Ressourcenverbrauch steigernden Subventionen und Begünstigungen*
   Immer deutlicher wird sichtbar, daß die verbreitete Subventionierung des Ressourcenverbrauchs, und zwar auch in den hochindustrialisierten Ländern, die Entwicklungsländer einschließlich Osteuropa nicht nur Geld kostet - geschätzte ca. 230 Mrd. US-$ jährlich (Weltbank, 1992a) - sondern auch umweltpolitisch problematische Signale sendet. Wasser wird teilweise kostenlos abgegeben, der Energieeinsatz ist verbilligt, die Gebühren für den Holzeinschlag decken selten die Kosten der Wiederaufforstung und die Subventionierung der Pestizide beläuft sich teilweise bis auf 80 %. Dies reizt - gemessen an jenem Verbrauch, der sich bei Internalisierung aller Kosten einstellen würde - zur "Ressourcenverschwen-

dung" und erschwert den Aufbau von sich selbst tragenden Versorgungs- und Entsorgungseinrichtungen. Es muß, mit anderen Worten, dafür Sorge getragen werden, daß alle ökologischen Folgekosten internalisiert werden. Ohne eine solche Internalisierung ist auch die Zuweisung von Eigentumsrechten problematisch.

3. *Die Verschärfung des Haftungsrechts*
Ein großer Teil der bisherigen Umweltrisiken resultiert aus dem Tatbestand, daß keine Entschädigungen für grenzüberschreitende Schädigungen eingeklagt werden konnten. Hier kann darum eine Verschärfung des Haftungsrechts nicht nur ausgleichend, sondern aufgrund seiner Eigenschaften sogar vorbeugend wirken. Mit anderen Worten: Eine Zuweisung von Eigentumsrechten ist nur dann vertretbar, wenn Schädigungen von Schutzgütern anderer Nationen auf dem Klageweg unterbunden bzw. prophylaktisch wirkende Entschädigungen eingefordert werden können.

4. *Die eindeutige Definition schutzwürdiger Tatbestände*
Es gibt Güter, die von globaler Bedeutung sind oder die Eigenschaften von Kollektivgütern (mangelnde Realisierbarkeit des Ausschlußprinzips) aufweisen. Hier sind zur Lösung des Problems andere Maßnahmen gefordert. Zuvor ist aber eine eindeutige Definition erforderlich: So wurde im Rahmen dieses Gutachtens mehrfach die Notwendigkeit betont, globale Umweltgüter festzulegen, um sie dann unter einen besonderen Schutz zu stellen. Zur Durchsetzung des Schutzanliegens reicht hierbei vielfach die Zuweisung von Eigentumsrechten nicht aus; dann muß das Planungsrecht eingesetzt werden. Die Erfahrungen aus den hochentwickelten Ländern machen nämlich deutlich, daß die Raumplanung häufig weniger Entwicklungsprozesse anzustoßen, aber eine beachtliche Konservierungswirkung (Ressourcenschutz, planender Umweltschutz) zu entfalen vermag. Unverkennbar ist aber, daß dieses Instrument einen handlungsfähigen Staat vorausetzt, der für die Einhaltung der raumplanerischen Festlegungen die notwendige Kraft aufzubringen vermag.

Handlungsprioritäten

Eine Politik mit solchen Rahmenbedingungen ordnet dem Staat oder der internationalen Staatengemeinschaft durchaus wichtige Aufgaben zu. Dies soll an *drei* Problemfeldern, die mit Priorität angegangen werden sollten bzw. der Bewältigung bedürfen, näher umrissen werden. Dies sind

(1) die Bewältigung des Klimaproblems,
(2) der Erhalt der Tropenwälder sowie
(3) die Sicherung der Ernährungsbasis.

Zu (1):
Ersteres ist wichtig, weil gerade die UNCED-Konferenz zu einer Konvention geführt hat, die sich in Hinblick auf die Reduktion der CO_2-Emissionen durch Interpretation des Abschnitts 2 der "Klimakonvention" in ein Mengenziel übersetzen läßt. Die Bundesregierung sollte die dort begonnene Diskussion fortführen und instrumentale Überlegungen einbringen, d.h. die Diskussion nicht mehr um das *Ob*, sondern nur noch um das *Wie* kreisen lassen. Es geht dann primär um die Frage, wie der in der Klimakonvention indirekt definierte Nutzungsspielraum der Erdatmosphäre für den klimaverträglichen Eintrag von CO_2 auf die verschiedenen Nationen bzw. die Nutzungsinteressenten verteilt werden kann und wie mit diesen Nutzungsrechten umgegangen werden soll.

Hier sollte nach Auffasung des Beirates die Chance genutzt werden, über die Zuweisung von Eigentumsrechten den eben beschrieben Weg eines globalen Suchprozesses zu beschreiten, d.h. dort einen Markt zu installieren, wo bisher keiner bestand. CO_2 ist ein "Schad"-Stoff, der nicht die Lösung des Regionalisierungsproblems (Bestimmung räumlicher Emissions-Immissions-Verflechtungen) verlangt, einen Massenstrom darstellt, der aufgrund seiner "Teilbarkeit" eine große Stückelung von Nutzungsrechten zuläßt und angesichts der großen Zahl von Anlagenbetreibern (oder Ländern als Eigentümern) funktionsfähige Märkte garantiert (Kölle, 1992; Heister und Michaelis, 1991; Grubb, 1990). Bei der Erstverteilung der Eigentumsrechte der indirekt über den Abschnitt 2 der Klimakonvention schon vordefinierten maximalen CO_2-Emissionsmenge sollte man sich an der gegenwärtigen Bevölkerungszahl oder der Bevölkerungszahl eines zurückliegenden Bezugsjahres orientieren. Dies erscheint als eine "Gerechtigkeitsregel", die allgemein akzeptiert werden könnte. Insbesondere würde sie den meisten Entwicklungsländern angesichts ihres geringen Industrialisierungsgrades fast automatisch einen über noch nicht ausgenutzte Eigentumsrechte definierten Entwicklungsspielraum garantieren. Dem Argument, über einen "Einkauf" der Nutzungsrechte könnten die hochindustrialisierten Nationen den armen Ländern ihren Entwicklungsspielraum "wegkaufen", kann man mit dem Einwand und entsprechenden Vorkehrungen begegnen, daß die temporäre Verpachtung von Rechten (kombiniert mit Preisgleit-Klauseln) für die Entwicklungsländer interessanter sein sollte. Außerdem kann das Präsentieren von ausschöpfbaren Nutzungsrechten wie eine Investitionsprämie wirken und den Industrialisierungsprozeß ohne Aufstockung des globalen CO_2-Eintrags beschleunigen. Hinzu kommt, daß Investitionen in den hochentwickelten Ländern über Kapitaltransfers "freigekauft" werden können, welche der Sanierung ineffizienter Energieerzeugungsanlagen (etwa in Osteuropa) dienen. Auf alle Fälle wäre eine rasche ökologische Effizienz bei globaler Kostenminimierung sichergestellt. Letztlich gäbe es bei einer Orientierung der Erstverteilung auf die momentane Bevölkerungszahl (bzw. auf ein zurückliegendes Basisjahr bezogen) auch einen indirekten Anreiz dahingehend, daß die Entwicklungsländer noch stärker auf ihre demographischen Prozesse Einfluß nehmen müßten.

Zu (2):
Ein zweiter Handlungsschwerpunkt globaler Umweltschutzpolitik betrifft den Schutz der Tropenwälder. Dies erfordert vermutlich andere instrumentale Schlußfolgerungen als im eben dargestellten Beispiel einer CO_2-Minderungspolitik. Tropenwälder haben nämlich - bezogen auf ihre Funktionen für das Weltklima bzw. den Artenerhalt - den Charakter eines Weltkollektivgutes, das im Interesse der gesamten Weltbevölkerung erhalten werden sollte. Aufgrund der Kollektivguteigenschaften kommt dieses Interesse nicht in individuellen Nachfrageaktivitäten zum Ausdruck; die Nachfrage muß also organisiert werden. Nur so kommt der globale Nutzen ökonomisch auch zur Geltung und können den Ländern die "Kosten" erstattet werden, die mit dem Tropenwaldschutz verbunden sind. Diese Kosten haben den Charakter von Opportunitätskosten, d.h. von Nachteilen, die aus dem Nutzungsverzicht (etwa Verzicht auf Nutzung der Tropenhölzer oder Nutzung der Waldflächen als Weideland) resultieren. Insofern ist zu überlegen, ob der Abschluß eines Kooperationsvertrags zur Einrichtung eines globalen Tropenwaldfonds betrieben werden sollte, der von der Weltbevölkerung - etwa unter Bezugnahme auf Bevölkerungszahl und Durchschnittseinkommen - finanziert wird. Der Erwerb solcher Nutzungsrechte an den Tropenwäldern könnte, um die Finanzierungslast zu minimieren, über die Versteigerung von Verpflichtungsscheinen geschehen (Scheube, 1993). Deren Besitzer (private oder öffentliche Waldbesitzer) verpflichten sich, die eingebrachten Waldflächen entweder überhaupt nicht oder nur umweltschonend zu nutzen. Über Satellitenüberwachung ließe sich die Einhaltung dieser Verpflichtungen überwachen.

Zu (3):
Ein dritter Handlungsschwerpunkt stellt die Landwirtschaft bzw. die Sicherung der Ernährungsbasis in den Entwicklungsländern dar. Ausgangspunkt ist die Überlegung, daß es selbst einer erfolgreichen Bevölkerungspolitik nicht mehr gelingen wird, kurz- und mittelfristig die rasche Bevölkerungsexpansion zu bremsen, letztere somit den Charakter einer nicht zu korrigierenden Rahmenbedingung erhält, wobei der Großteil der Bevölkerungsexpansion auf die Entwicklungsländer entfallen wird. Bei unproduktiver Landnutzung wird nicht nur die landwirtschaftlich genutzte Fläche zu Lasten von Wäldern und Grasländern ausgedehnt oder die Landflucht gefördert, vielmehr kommt es auch zu einer Verschärfung des Armuts- und Hungerproblems. Hier ist ein Beratungs-, Finanz- und Technologietransfer gefordert. Anzustreben ist die Entwicklung angepaßter Landnutzungsformen sowie die Schaffung heimischer Märkte, etwa durch Förderung des Ausbaus der Nahrungs- und Genußmittelindustrie.

Forschungsbedarf

Lange Zeit dominierten im Bereich der globalen Umweltforschung die Naturwissenschaften. Sie waren es auch, die auf die Folgewirkungen der Bevölkerungsentwicklung und vieler Formen unseres Wirtschaftens aufmerksam

machten. In der umweltökonomischen Forschung regte sich schon früh das Interesse für die Ursachenanalyse. Sie kreiste insbesondere um die Frage, ob es sich hier um ein Markt- oder ein Politikversagen handelt bzw. welche Rolle den institutionellen Einflußfaktoren zukommt. Hinzu trat bald das Interesse an der Transformation der Wirkungsforschung in ökonomische Größen (Schätzung der Folgekosten) bzw. der adäquaten Berücksichtigung der intergenerativen Gerechtigkeit. Diese Fragenkomplexe können noch keineswegs als voll beantwortet angesehen werden.

In der Zwischenzeit besteht jedoch weitgehender Konsens über den Handlungsbedarf. Dies läßt die Frage nach den Handlungsmöglichkeiten sowie nach den Ansatzpunkten bzw. den Instrumenten einer nationalen bzw. internationalen Umweltpolitik aufkommen. Dies führt dazu, daß neuerdings die Leitbilddiskussion neu entflammt, sich das Interesse in besonderer Weise auch institutionellen Aspekten zuwendet und konzeptionelle Fragen globaler Umweltpolitik behandelt werden.

Angesichts des gegenwärtigen Standes der umweltökonomischen Forschung besteht zu den nachfolgend aufgelisteten Fragen noch beachtlicher Forschungsbedarf.

Folgekostenschätzung und Ursachenanalyse:

- Anwendbarkeit der Zahlungsbereitschaftsanalyse bzw. des Schadenskosten- sowie des Schadensvermeidungskostenansatzes auf globale Analysen der Kosten unterlassenen Umweltschutzes

- Adäquate Berücksichtigung räumlich und zeitlich divergierender Präferenzstrukturen

- Abgrenzung und Bewertung globaler Kollektivgüter

- Entwicklung einer globalen Vermögensrechnung zur Abschätzung des "ökologischen Realkapitals"

- Globale Umwelt- und Entwicklungsauswirkungen der gegenwärtigen Institutionen der Weltwirtschaftsordnung

- Globale Umweltaspekte des sektoralen und regionalen Strukturwandels der Weltwirtschaft, einschließlich der räumlichen Verlagerung umweltintensiver Wirtschaftsbereiche

Grundlagenforschung für Politikempfehlungen:

- Operationalisierung des Begriffs "sustainable development" aus ökonomischer Sicht

- Die Bedeutung der Steigerung von Ressourceneffizienz sowie Kreislaufschließung im Rahmen des umweltpolitischen Zielkatalogs

- Rahmenbedingungen für eine Umweltpolitik auf der internationalen Ebene, insbesondere Anwendbarkeit des Ordnungsrechts, des Haftungsrechts bzw. ökonomischer Instrumente im Rahmen einer globalen Umweltpolitik

- Ökonomische Instrumente globaler Klimaschutzpolitik - Zertifikate versus Abgaben

- Konzeptionelle und instrumentale Implikationen bestimmter Schutzgüter (Schutz der Meere, Schutz des Bodens, Schutz des Wassers usw.)

- Sicherung der Ernährungsbasis in den Entwicklungsländern - agrarpolitische Schlußfolgerungen

- *Indikatorensysteme*

Bei der Entwicklung eines Indikatorensystems zur Erfassung jener Größen, die unter Verursachungs- und Wirkungsaspekten die globalen Umweltveränderungen zu verdeutlichen vermögen, sind mehrere Fragen zu lösen:

1. Lösung des Regionalisierungsproblems
2. Lösung des Kriteriensproblems
3. Lösung des Indikatorenproblems
4. Bestimmung kritischer Schwellenwerte

Was das erste Problem betrifft, so wird bis jetzt bevorzugt auf die Länderebene zurückgegriffen. Unter dem Aspekt der politischen Verantwortlichkeit ist dies sicherlich eine zutreffende Beobachtungseinheit. Es wurde im Rahmen dieses Gutachtens jedoch deutlich, daß an vielen Stellen ein Regionalisierungsbedarf besteht. So konnte aufgezeigt werden, daß bei entwicklungsrelevanten Faktoren, die nur mit hohen Kosten transportiert oder verändert werden können, kleinere räumliche Einheiten benötigt werden. Typisches Beispiel ist das Wasser, das in vielen Ländern schon zur entwicklungslimitierenden Komponente wurde. Ähnliches trifft für die Festlegung von global relevanten Schutzgebieten zu. Ein typisches Beispiel bietet hier der neueste Weltentwicklungsbericht, der eine weltweite Festlegung von für den

Naturschutz vorrangigen Gebieten vorzunehmen versucht (Weltbank, 1992a; Mittermeier, 1988; Mittermeier und Werner, 1990; Myers, 1988 und 1990).

Die Ableitung eines Kriterienkatalogs sollte sich weniger an dem verfügbaren Datenmaterial, sondern vor allem an dem Hypothesenvorrat über globale Ursachen-Wirkungs-Zusammenhänge orientieren. Danach wäre zu prüfen, wie die benötigten Einzelinformationen beschafft oder über Hilfsindikatoren Ersatzinformationen verdeutlicht werden können.

Die Frage der Indikatorenbildung betrifft den vielfach vorgetragenen Wunsch nach Verdichtung von Einzelinformationen. Dies würde eine Standardisierung und Gewichtung der Einzelkriterien verlangen. Da die Möglichkeiten der Konstruktion eines allen Umweltaspekten gerecht werdenden Gesamtindikators gering sind, dürfte die Entwicklung von Teilindikatoren wichtiger sein.

Jede Indikatorenbildung drängt schließlich zur Klasseneinteilung. Dies impliziert die Suche nach kritischen Schwellenwerten, deren Über- oder Unterschreitung politisches Handeln verlangt. Hier ist zu prüfen, inwieweit global relevante Schwellenwerte bestimmbar sind oder noch weiterer Differenzierungsbedarf besteht.

2.3 Zunahme des Verkehrs

Kurzbeschreibung

Der Verkehr ist ein prägendes Element des globalen Wandels. Er gewährleistet eine interregionale und internationale Arbeitsteilung, schafft Absatz- bzw. Beschaffungsspielräume und liefert damit u.a. die Voraussetzungen für eine kostensenkende großbetriebliche Produktion, gleichzeitig unterstützt er die Entstehung großer Wirtschaftsblöcke. Lange Zeit hat man diese positiven Effekte besonders hervorgehoben und durch Ausbau der Verkehrswege auch bewußt gefördert. In der Zwischenzeit steht aber auch fest: Der Verkehr zählt auch zu den Hauptverursachern von Umweltbelastungen. So ist er Quelle wichtiger groß- und kleinräumiger Emissionen, der Bau von Verkehrswegen "verbraucht" Flächen und beeinträchtigt das Landschaftsbild, unter dem Verkehrslärm leiden viele Menschen, vor allem in den Verdichtungsgebieten, Transportvorgänge verbinden sich mit Risiken, die Beseitigung nicht mehr benötigter Verkehrsmittel bzw. ihrer Bestandteile schafft beachtliche Abfallprobleme. Insofern darf in einem Gutachten, welches das komplexe Beziehungsgefüge zwischen Natursphäre und Anthroposphäre durchleuchten will, der Verkehr nicht fehlen. Der Beirat wird sich hierbei nachfolgend auf jene Verkehrsaspekte konzentrieren, die von globaler Bedeutung sind. In diesem Zusammenhang wird er vor allem die Emissionsproblematik behandeln und von den klassischen Verkehrsträgern in besonderem Maße den Straßenverkehr in den Mittelpunkt seiner Betrachtung stellen.

Verkehr ist Ausdruck der Raumüberwindung von Personen, Gütern und Informationen, wobei unter Umweltaspekten - läßt man einmal den Bau der Verkehrswege außer acht - vor allem den mit dem Personen- und Güterverkehr zusammenhängenden Verkehrsaktivitäten besondere Bedeutung zukommt. Mobilität bedeutet hierbei Beweglichkeit im Raum. Das Ausmaß der Mobilität hängt entscheidend von der Qualität der infrastrukturellen Verkehrserschließung und der Verkehrsmittel (Geschwindigkeit, Netzbildungsfähigkeit usw.), der Verkehrsbelastung der Verkehrswege, den Transportkosten (je km und Person oder Mengen- bzw. Gewichtseinheit), den Produktionsgesetzmäßigkeiten der Wirtschaft (etwa Wunsch nach mehr Just-in-time-Verkehr bei sinkender betrieblicher Fertigungstiefe), der wirtschaftlichen Entwicklung, dem verfügbaren Einkommen und der verfügbaren Zeit ab. Der Wunsch nach mehr Mobilität kann hierbei eine abhängige Größe - Verkehr als Folge wirtschaftlicher Entwicklung bzw. des Auftretens neuer Produktionsgesetzmäßigkeiten - , aber auch eine unabhängige Größe (Wunsch nach mehr Mobilität im Sinne eines konsumtiv ausgerichteten "Bedarfs") sein. Die Mehrheit der Verkehrsvorgänge ist zwar noch funktionaler Natur, mit steigendem Einkommen und wachsender Freizeit wächst aber auch der Wunsch nach Mobilität als solcher.

Unter verkehrs- und umweltpolitischen Überlegungen muß nicht nur den Entwicklungstendenzen beim Fahrzeugbestand, beim Verkehrsaufkommen der einzelnen Verkehrsträger, sondern vor allem auch den Zusammenhängen

zwischen Verkehrsaufkommen (gemessen in Personen oder Tonnen), Verkehrsleistung (gemessen in Personen- oder Tonnenkilometer) und der Fahrleistung (gemessen in Fahrzeugkilometer) Aufmerksamkeit geschenkt werden. Um einen ersten Eindruck von den globalen Entwicklungstendenezn zu erhalten, kann man die Entwicklung des unter Umweltaspekten relevanten Kraftfahrzeugbestandes nach Ländern und Ländergruppen verfolgen und die daraus resultierenden Trends ableiten (Tabelle 20).

Es zeigt sich hierbei, daß im emissionsrelevanten Straßenverkehr generell von stark ansteigenden Fahrzeugbeständen auszugehen ist, wobei die Entwicklung teilweise exponentiell (z.B. Asien ohne Japan) verläuft (Abbildung 13). Zwar werden, wenn sich diese Trends so fortsetzen, die hochentwickelten Industrienationen Nord-Amerikas, Westeuropas und Japan Ende dieses Jahrtausends immer noch über zwei Drittel des Pkw-Bestandes auf sich vereinen, unverkennbar steigt aber der Bedeutungsanteil der restlichen Welt, insbesondere jener der Schwellenländer. Im Lkw-Bereich ist dieser Trend schon weiter vorangeschritten, wobei davon auszugehen ist, daß sich die Altersstruktur der Bestände unterscheidet und in den 'Entwicklungsländern eher die unter Emissionsüberlegungen negativ zu beurteilenden "Alt"-Bestände dominieren.

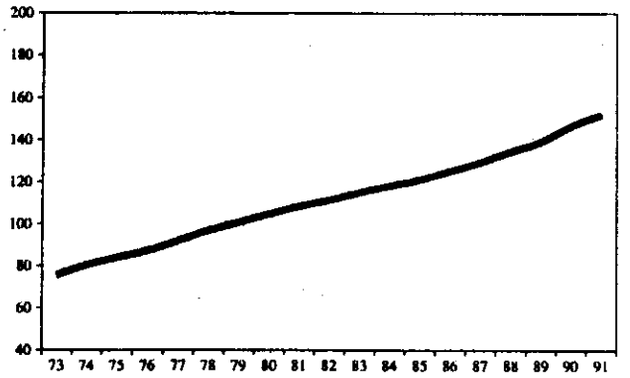
Ursachen

Verkehr und wirtschaftliche Entwicklung stehen in einer engen wechselseitigen Beziehung. So induziert wirtschaftliches Wachstum in der Regel Verkehr, umgekehrt zählen aber auch der Ausbau und die Unterhaltung von Verkehrswegen zu den wichtigsten Ansatzpunkten einer Wachstumspolitik, die die Beseitigung entwicklungslimitierender Engpaßfaktoren zum Ziel hat. Aus diesem Grunde zählt der Ausbau der Verkehrswege, der Stationen, Flughäfen bzw. Schnittstellen zwischen den verschiedenen Verkehrsträgern auch heute noch zu den wichtigsten Maßnahmen einer wachstumsorientierten Infrastrukturpolitik in den unterentwickelten Ländern. Der geringere Planungs-, Realisierungs- und Finanzierungsaufwand beim Straßen- im Vergleich zum Schienenwegebau begünstigt hierbei vor allem den Straßenverkehr bzw. - in Ländern mit großen Wegedistanzen - den Flugverkehr. Hinzu kommt, daß der moderne Schienenverkehr in der Regel hohe Anforderungen an Personal bzw. Anlagen stellt und unter den spezifischen Bedingungen tropischer Länder häufig sehr störungsanfällig ist. Dies führte dazu, daß dem Straßen- sowie Luftverkehr in den meisten unterentwickelten Ländern eine besondere Rolle zuzumessen ist und im Gegensatz zu den hochentwickelten Ländern häufig nur geringe Möglichkeiten einer Beeinflussung oder Änderung der Fahrleistungsverteilung auf die verschiedenen Verkehrsträger ("modal split") bestehen. Hierdurch wird der umweltpolitische Handlungsspielraum stark eingeengt.

Unter Umweltaspekten muß nicht nur den Fahrzeugbeständen, sondern vor allem den Entwicklungstendenzen im Verkehrsaufkommen der einzelnen Verkehrsträger sowie den Zusammenhängen zwischen Verkehrsaufkommen

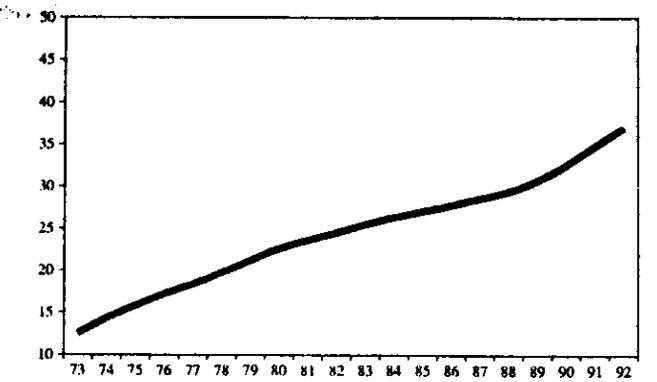
PKW-Bestand in Westeuropa

1973 bis 1991; in Mill.



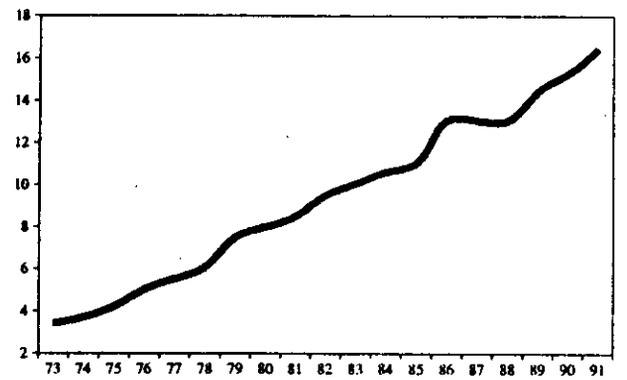
PKW-Bestand in Japan

1973 bis 1992; in Mill.



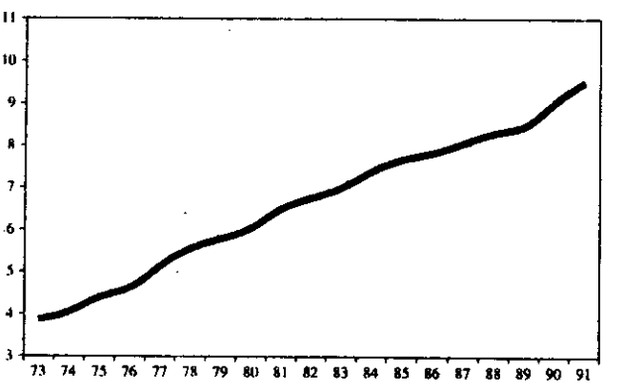
PKW-Bestand in Osteuropa

1973 bis 1991; in Mill.



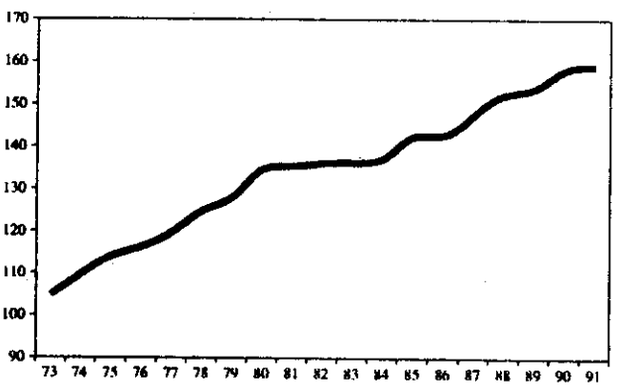
PKW-Bestand in Afrika

1973 bis 1991; in Mill.



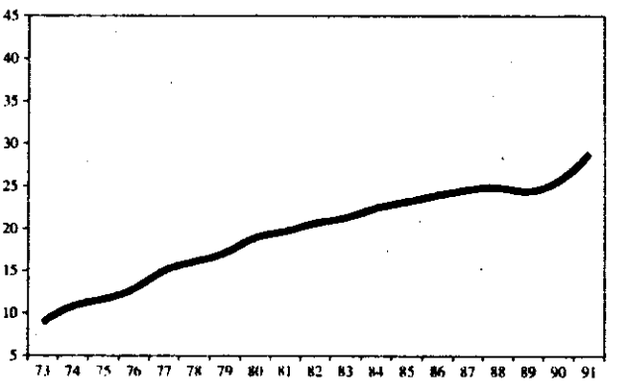
PKW-Bestand in Nordamerika

1973 bis 1991; in Mill.



PKW-Bestand in Lateinamerika

1973 bis 1991; in Mill.



PKW-Bestand in Asien (ohne Japan)

1973 bis 1991; in Mill.

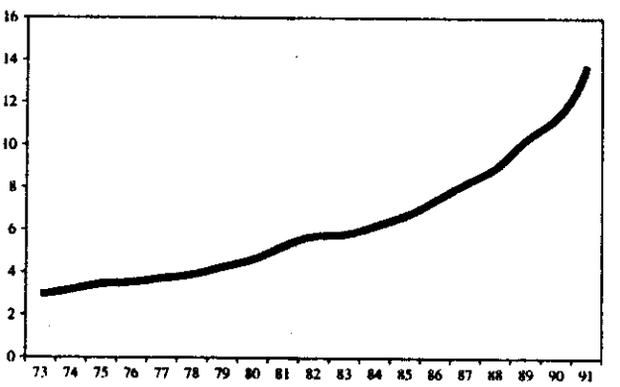


Abbildung 13: Entwicklung des PKW-Bestandes für verschiedene Ländergruppen *(RWI, 1993)*

PKW	Mio. Fahrzeuge im Jahr		Veränderungen in % von	Anteile am Gesamtfahrzeugbestand in %	
	1990	2000	1990-2000	1990	2000
OECD					
Nord-Amerika	158,151	189,720	19,96	36,95	31,54
West-Europa	146,759	212,312	44,67	34,29	35,29
Pazifik	9,569	12,366	29,23	2,24	2,06
Japan	32,621	46,207	41,65	7,62	7,68
Nicht-OECD					
Asien	11,315	17,776	57,10	2,64	2,95
Nahost	6,318	10,089	59,69	1,48	1,68
Afrika	9,033	14,657	62,23	2,11	2,44
Lateinamerika	25,690	46,821	82,25	6,00	7,78
Ost-Europa	15,293	30,245	97,77	3,57	5,03
ehem. UdSSR	13,227	21,420	61,94	3,09	3,56
Welt	427,976	601,613	40,57	100,00	100,00

LKW	Mio. Fahrzeuge im Jahr		Veränderungen in % von	Anteile am Gesamtfahrzeugbestand in %	
	1990	2000	1990-2000	1990	2000
OECD					
Nord-Amerika	46,649	55,35	18,65	36,02	28,83
West-Europa	18,819	29,87	58,70	14,53	15,56
Pazifik	2,538	3,79	49,45	1,96	1,98
Japan	21,647	27,96	29,18	16,71	14,56
Nicht-OECD					
Asien	11,107	22,18	99,68	8,58	11,55
Nahost	3,230	10,94	238,54	2,49	5,70
Afrika	4,357	8,18	87,84	3,36	4,26
Lateinamerika	9,347	15,80	69,00	7,22	8,23
Ost-Europa	2,426	4,11	69,58	1,87	2,14
ehem. UdSSR	9,387	13,81	47,13	7,25	7,19
Welt	129,507	191,99	48,25	100,00	100,00

Tabelle 20: Trendentwicklung des Kraftfahrzeugbestandes nach Ländern und Ländergruppen

(IEA, 1991; RWI, 1993)

(gemessen in Personen und Tonnen), Verkehrsleistung (gemessen in Personen- und Tonnenkilometer) und der Fahrleistung (gemessen in Fahrzeugkilometer) Aufmerksamkeit geschenkt werden. Das Güterverkehrsaufkommen wird hierbei entscheidend vom Umfang der volkswirtschaftlichen Güterproduktion bestimmt, wobei in den höher entwickelten Ländern das Güterverkehrsaufkommen unterproportional steigt, was vor allem mit dem sektoralen Strukturwandel begründet werden kann. Hochgewichtige, homogene Massengüter, die zumeist in konsumfernen Bereichen dominieren, weisen nämlich im Zeitablauf einen abnehmenden Anteil am Gesamtgüterangebot auf. Auch das Personenverkehrsaufkommen wird durch die volkswirtschaftliche Wertschöpfung mitbestimmt; nur tritt hier als weitere entscheidende Determinante der Umfang und räumliche Verteilung der Bevölkerungsentwicklung hinzu. Insofern muß man einen großen Teil des künftigen Personenverkehrsaufkommens der unterentwickelten Länder auch als eine vom wirtschaftlichen Wachstum unabhängige Größe ansehen, die den Charakter eines autonomen und schwer zu beeinflussenden Trends hat.

Für die Erklärung der globalen Umweltveränderungen noch wichtiger als das Verkehrsaufkommen ist die Entwicklung der Verkehrsleistung. Bedingt durch die Globalisierung der betrieblichen Absatz- und Beschaffungsmärkte, die Internationalisierung der Produktion und die Steigerung der zwischenbetrieblichen Arbeitsteilung sind die durchschnittlichen Versandweiten fast aller Verkehrsträger in der letzten Zeit stark angewachsen. Dies bewirkte, daß sich die Transportleistung in der Regel schneller als das Aufkommen entwickelte. Beim Personenverkehr der höher entwickelten Nationen wurde dieser Trend zur steigenden Mobilität vor allem durch die Wohlstandsentwicklung begünstigt, die insbesondere beim Individualverkehr - bezogen auf die reale Einkommensentwicklung - zu einem überproportionalen Anstieg der Transportleistungen (Personen-km) führte. Es ist davon auszugehen, daß die Entwicklungsländer diesem Trend folgen werden. Bis jetzt dominiert aber noch der urbane Verkehr (Nahverkehr).

Unter Umweltaspekten besonders bedeutsam ist aber die Entwicklung der Fahrleistung im Bereich der einzelnen Verkehrsträger. Sieht man nämlich das einzelne Fahrzeug als die entscheidende Quelle umweltrelevanter Effekte (Lärm, Schadstoffemissionen, Abfallprobleme usw.) an, muß man der Entwicklung der Fahrzeugbestände und ihre durchschnittlichen Fahrleistung beachten. Wächst die durchschnittliche Größe und Auslastung der einzelnen Fahrzeuge, muß ein steigendes Verkehrsaufkommen keineswegs von einem parallelen Anstieg der Fahrleistung begleitet sein. So nahm in den höher entwickelten Ländern die Fahrleistung (Fahrzeugleistung in km pro Jahr) im Güterverkehr im Vergleich zum Güterangebot (Aufkommen pro Jahr in Tonnen) nur unterproportional zu, was vor allem auf die Erhöhung der durchschnittlichen Nutzlast, die effizientere Lösung der logistischen Abstimmungsaufgaben bei und zwischen den einzelnen Verkehrsträgern und teilweise auch auf den

Ausbau der Verkehrsinfrastruktur (Kürzung der Versandweiten) zurückzuführen ist (Klemmer, 1991). Im Personenverkehr gilt jedoch der umgekehrte Trend. Dort stieg nicht nur die Verkehrsleistung (Personenkilometer) stärker als das Verkehrsaufkommen an, im Individualverkehr wuchs vielmehr auch die die Mobilität der Individuen umschreibende Fahrleistung und lag in Westdeutschland Ende der 80er Jahre schon bei rund 17.500 km je Person und Jahr, mit steigender Tendenz (BMV, 1991).

Grundsätzlich ist davon auszugehen, daß die eben skizzierten Vorgänge der Tendenz nach zunächst auch in den unterentwickelten Ländern eintreten werden, wobei dort jedoch aufgrund des weniger ausgebauten Schienenverkehrs die Verkehrsträgeralternativen begrenzt sind, d.h. der Verkehr primär auf die Straße drängt und auch die Bevölkerungsentwicklung zur fast alles dominierenden Größe wird. Bedenkt man z.B., daß der Pkw-Besatz je 1.000 Einwohner in Westeuropa 1990 bei 325 (Nordamerika: 553), in Asien hingegen erst bei 3 bzw. in Afrika erst bei 13 lag (RWI, 1993), kann man eine grobe Vorstellung davon bekommen, was ohne signifikante Trendänderung des Verkehrsaufkommens eintreten könnte. Wie aus Tabelle 20 entnommen werden kann, muß nach neueren Schätzungen (RWI, 1993) realistischerweise davon ausgegangen werden, daß es im Jahre 2000 weltweit einen Bestand von ca. 602 Mio. Pkw und 192 Mio. Lkw geben wird, was gegenüber 1990 bzw. 1989 einen Zuwachs von fast 41 % (Pkw bezogen auf 1990) bzw. über 48 % (Lkw bezogen auf 1989) bedeuten würde. Hierbei muß man sich noch in Erinnerung rufen, daß Prognosen im Verkehrsbereich erfahrungsgemäß zumeist eher mit der Gefahr der Unter- als der Überschätzung verbunden sind.

Die quantitative und qualitative Ausprägung der Auswirkungen des Verkehrs auf Natur- und Anthroposphäre wird auch entscheidend durch Verkehrsträgernutzung bestimmt. Grundsätzlich stehen hierfür Straßen und Schienen als terrestrische Verkehrsträger sowie der Schiffsverkehr auf Binnenwasserstraßen und Meeren und der Luftverkehr als Alternativen zur Verfügung. Positive und negative Wirkungen werden dabei verkehrsträgerspezifisch bei der Produktion, der Nutzung sowie der abschließenden Behandlung oder Beseitigung der Betriebsmittel und der Verkehrsinfrastrukturbestandteile ausgelöst. Vor dem Hintergrund der als global relevante Auswirkungen definierten Bereiche erscheinen folgende Charakteristika der einzelnen Verkehrsträger relevant:

- *Straße:*
  Feine Netzbildungskapazität, hoher Individualisierungsgrad, geringere Massentransportleistungsfähigkeit als bei Schiene und Wasserstraßen, in der Regel höhere Durchschnittsgeschwindigkeit, schnellere und partielle Ausbaufähigkeit im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern, geringerer Kapitalbedarf aufgrund der Möglichkeit des Ausbaus partieller Netze, geringere Empfindlichkeit gegenüber klimatischen Einwirkungen, geringerer Pflegebedarf, hoher Bedarf an zusammenhängenden Landflächen

("Flächenverbrauch"), Zerschneidungseffekte, dominierende Position unter den klimarelevanten Emittenten des Verkehrsbereichs.

- *Schiene:*
  Gröbere Netzbildungskapazität (Knotenpunktverkehr), hohe Kapitalintensität und zumeist lange Ausreifungszeiten, hoher Bündelungs- und Kollektivierungsgrad, ebenfalls hoher Bedarf an zusammenhängenden Landflächen, eingeschränkte Verwendbarkeit durch erhöhte Anforderungen an das Bedienungspersonal und eine erhöhte Störungsanfälligkeit in Abhängigkeit der klimatischen Bedingungen, hohe Massentransportfähigkeit, aber zumeist geringere Durchschnittsgeschwindigkeit, geringerer Einfluß auf klimarelevante Emissionen des Verkehrs.

- *Schiff:*
  hohe Massentransportleistungsfähigkeit, geringe Netzbildungskapazität, geringe Geschwindigkeit, hohe Bündelungskapazität, eingeschränkte Verwendbarkeit aufgrund Abhängigkeit von natürlichen Gegebenheiten, unter anderem von klimatischen Bedingungen, hoher Kapitalbedarf beim Ausbau künstlicher Wasserstraßen (Kanäle), geringer Einfluß auf klimarelevante Emissionen.

- *Luftverkehr:*
  geringe Netzbildungskapazität, geringere Massentransportleistungsfähigkeit, relativ schnelle Ausbaufähigkeit, hohe Geschwindigkeit über große räumliche Distanzen, eingeschränkte und lediglich kleinräumlich-punktuell auftretende Beanspruchung von Landflächen, Empfindlichkeit gegenüber besonderen klimatischen Bedingungen, hoher Pflegebedarf, hohe Emissionsvolumina klimarelevanter Gase .

Über den ökonomisch effizienten und ökologisch akzeptablen Verkehrsträgermix kann lediglich auf der Grundlage einer Analyse der regional bestehenden Ausgangsbedingungen entschieden werden. Eine Typologie der verschiedenen Regionen könnte anhand der folgenden Kriterien gebildet werden:

(1) *die geographischen Lagegegebenheiten:*
Eine geringe Entfernung zu bedeutenden Wirtschaftszentren oder die Lage an einer global bedeutsamen Verkehrsachse kann die Verkehrsträgerwahl beeinflussen (Meyer-Schwickerath, 1989).

(2) *Einflußfaktoren der Verkehrsleistungsnachfrage:*
Hierbei sind einerseits im Güterverkehr die wirtschaftliche Entwicklung und die sektorale Wirtschaftsstruktur mit der Affinität einzelner Güter zu bestimmten Verkehrsträgern, andererseits im Bereich des Personenverkehrs die Dispersität der Siedlungsstruktur, das Bevölkerungs-

wachstum, die Bevölkerungsdichte sowie das verfügbare Einkommen zu berücksichtigen.

(3) *die institutionelle Infrastruktur und die finanzielle Ausstattung zur kurzfristigen Flexibilität bei der Verkehrsträgernutzung:*
Nicht effiziente Strukturen im Verwaltungsbereich sowie finanzielle Engpässe durch fehlende funktionsfähige Kapitalmärkte und hohe Auslandsverschuldung schränken die Verwendbarkeit komplexer und aufwendiger Verkehrsträgerstrukturen sowie die Nutzung umweltverträglicherer Technologien ein (Meyer-Schwickerath, 1989; Weltbank, 1992a).

Auch die klimatischen Gegebenheiten haben Einfluß auf den Verkehrsträgermix. So ist z.B. aufgrund der hohen Luftfeuchtigkeit und der hohen Temperaturen in tropischen Regionen die Nutzung der Schienenverkehrsmittel beschränkt.

Ausgehend von diesen Kriterien lassen sich damit zunächst folgende Ländergruppen unterscheiden:

(1) *Die hochentwickelten Länder bzw. ökonomischen Welt-Gravitationszentren.*
Diese Gruppe ist geprägt durch geringe Restriktionen bei den Verkehrsträgernutzungsoptionen (Kriterium 3) aufgrund natürlicher Gegebenheiten, durch eine aktive Einbindung in alle wesentlichen globalen Verkehrsverbindungen, zunehmend individualisierte und differenzierte Anforderungen bezüglich der Geschwindigkeit, Zuverlässigkeit und Häufigkeit der Verkehrsleistungen im Bereich des Güterverkehrs, disperse Siedlungsstrukturen, hohe Pro-Kopf-Einkommen und daraus resultierend starke Präferenzen für Straßen- und Luftverkehrsmittel im Güter- und Personenverkehrsbereich, eine funktionsfähige institutionelle Infrastruktur und gute Potentiale zur Weiterentwicklung umweltverträglicherer Verkehrssysteme. Ausgehend von einem hohen Nutzungsniveau des Verkehrsbereichs und damit der positiven und negativen Wirkungen in diesen Ländern und einer weiterhin zu erwartenden Verlagerung zu Verkehrsträgern mit relativ starken negativen globalen Umwelteffekten (Luftverkehr), ergibt sich in diesen Ländern eine besondere Dringlichkeit zur Bildung effizienter Anreizmechanismen, die die Konfrontation der umweltrelevanten Verkehrsträgernutzung mit den tatsächlichen volkswirtschaftlichen Kosten ermöglicht, womit zum einen ökonomisch effiziente und ökologisch verträgliche Verkehrsträgerkombinationen, zum anderen zusätzliche Anreize zur Erhöhung der Umweltverträglichkeit der Verkehrsbestandteile induziert werden können.

(2) *Die Länder Mittelost- und Osteuropas*
Diese Länder sind geprägt durch geringe natürliche Restriktionen der Verkehrsträgerwahl (Kriterium 3), durch eine aufgrund der relativ engen Anbindung an die EG-Staaten relativ günstige Lage im Rahmen der globalen Verkehrsanbindungen und eine zu erwartende starke Veränderung des modal splits aufgrund des Wegfalls einer zuvor rigoros propagierten Eisenbahnnutzungspflicht. Zudem ist in diesen Staaten ein sektoraler Strukturwandel, der sich in einer Reduktion des Anteils der Massentransportgüter niederschlagen wird und ein sich im Verlauf einer Angleichung der Siedlungsstrukturen und Einkommensverhältnisse ergebender Anstieg des motorisierten Individualverkehr in Richtung Straßen- und Luftverkehr zu erwarten. Die im Zuge des Transformationsprozesses ungenügende institutionelle Infrastruktur und der geringe Entwicklungsstand im Bereich des technischen Umweltschutz, der hohe Emissionsminderungspotentiale aufwiese, zeigen Handlungsbedarfe in diesen Staaten auf. Aufgrund der erwarteten Erhöhung des Verkehrsvolumens und einer Änderung der Verkehrsträgernutzungsstruktur zu weniger umweltverträglichen Verkehrsträgern ergibt sich für diese Länder insbesondere die Notwendigkeit der Mobilisierung der Emissionseinsparpotentiale und einer Weiterentwicklung des institutionellen Rahmens zur Beeinflussung der Wirkungen eines weiteren Anstiegs der Verkehrsleistung.

(3) *Die Schwellenländer (Newly Industrialized Countries)*
Die Gemeinsamkeit dieser Staaten betrifft insbesondere die wirtschaftliche Entwicklung (Kriterium 2). Ein sich vollziehender sektoraler Strukturwandel von arbeitsintensiven Industrien mit Massengütern zu differenzierteren und kapitalintensiveren Sektoren induziert auch in diesen Staaten eine Nachfrageverlagerung zu individuelleren Verkehrsträgern. Natürliche regionsspezifisch auftretende Restriktionen bei der Verkehrsträgerwahl betreffen insbesondere die Bahn. Zum anderen kann besonders in diesen Ländern mit zum Teil großen Gebieten ohne anthropogene Eingriffe die Errichtung achsenförmig durch diese Gebiete verlaufender Trassen für terrestrische Verkehrsträger als "Einfallstor" zur Ansiedlung größerer Gemeinschaften, die insbesondere die Funktion dieser Gebiete als Kohlenstoffsenke gefährdete, wirken. Zur Vermeidung dieser Entwicklung ist folglich in diesen Staaten primär mit dem Ausbau des Luftverkehrs zu rechnen. Diese Staaten sind in die globalen Verkehrsachsen integriert, so daß ihr Anteil am Welthandel weiter ansteigen und auch die Übernahme umweltverträglicher Technologien erleichtert werden dürfte. Die institutionelle Infrastruktur ist in dieser Gruppe heterogen verteilt: während in einigen asiatischen Staaten relativ stabile politische Systeme mit einer straffen Verwaltungsstruktur vorzufinden sind, ist insbesondere in den südamerikanischen Staaten dieser Gruppe das Reduktionspotential bezüglich negativer Auswirkungen durch den Verkehr aufgrund institutioneller Eigenheiten begrenzt. Für die Länder dieses Staatengruppentyps

ergibt sich somit zum einen das Erfordernis einer den natürlichen Restriktionen angepaßten Verkehrsträgernutzung, wobei sich bei einer internationalen Vorgabe der Verkehrsträgerstruktur in diesen Staaten Widerstände aufgrund einer Verletzung der staatlichen Souveränität ergeben können (vgl. Streit zwischen Brasilien und den USA über die Finanzierung eines Straßenbaufonds; Kennedy, 1993). Dieses Problem ist bei diesen Ländern besonders evident, da die Verkehrsträgeroptionen nur begrenzt sind, während bei den meisten hochentwickelten Staaten mehrere Alternativen zur Verfügung stehen. Zum anderen ist dort aufgrund des zu erwartenden Anstiegs der negativen Wirkungen des Verkehrs eine weitere Verbesserung der technischen Potentiale zu einer umweltverträglicheren Entwicklung zu fördern.

(4) *Entwicklungsländer mit großen Verkehrsanstiegspotentialen*
Innerhalb der großen heterogenen Gruppe der Entwicklungsländer ist es zweckmäßig, eine weitere Differenzierung anhand der oben genannten Typisierungskriterien vorzunehmen. Als übergreifende Indikatoren werden an dieser Stelle die länderspezifisch vorhandenen Potentiale zum Anstieg des Verkehrsleistungsvolumens und die damit verbundenen Wirkungen verwendet. Große Potentiale sind dann zu vermuten, wenn eine Anbindung an die globalen Verkehrsachsen relativ schnell und mit geringem Aufwand möglich ist, z.B. aufgrund geringer räumlicher Distanzen oder einer Anbindung an natürliche Verkehrsinfrastruktur (Seehäfen) (Kriterium 1). Zumeist konzentriert sich die Masse der Verkehrsaktivitäten noch auf die urbanen Räume (Nahverkehr). Entscheidende Komponente ist zudem der Entwicklungsstand im Bereich der institutionellen Infrastruktur, da Defizite im Verwaltungsaufbau ebenso wie unzureichendes technisches know-how und finanzielle Engpässe aufgrund unzureichender Ausbildungseinrichtungen und Kapitalmärkte zu limitierenden Faktoren bei der Entwicklung effizienter Verkehrsträgerkombinationen werden können (Kriterium 3) (vgl. zu Fallstudien in Ägypten Soliman, 1991; Hafez Fahmy Aly, 1989). Bei einer Mobilisierung der vorhandenen Potentiale könnte in diesen Ländern ein den Schwellenländern entsprechender Verkehrsleistungsanstieg bevorstehen. Um die damit verbundenen positiven ökonomischen Effekte nicht zu gefährden, empfiehlt es sich, mit Hilfe des Transfers umweltverträglicher Technologie eine verbesserte Umweltverträglichkeit dieses Entwicklungspfades zu ermöglichen.

(5) *Entwicklungsländer mit geringen Potentialen zur Erhöhung des Verkehrsvolumens*
Diese Länder sind durch ein geringes Ausgangsniveau an Verkehrsleistungen, eine große Distanz zu den globalen Verkehrsachsen, starke Restriktionen bei der Verkehrsträgernutzung aufgrund natürlicher Gegebenheiten und unzureichendem Finanz- und Humankapital, unzurei-

chende institutionelle Strukturen aufgrund politischer Instabilitäten, starkes Bevölkerungswachstum, hohe Bevölkerungsdichte bei unzureichendem Bestand an natürlichen Ressourcen und unzureichender ökonomischer Entwicklung geprägt (Kriterium 1 + 3). Von diesen Ländern ist ein lediglich geringer Einfluß auf die globalen Auswirkungen des Verkehrs zu erwarten.

Ausgehend von dieser Grobstruktur muß ergänzend zur Erläuterung der Verursachungsbereiche eine weitere Regionalisierung stattfinden. So sind z.B. in den Entwicklungsländern gravierende Unterschiede zwischen der Verkehrsentwicklung in den Metropolen und den ländlichen Regionen zu konstatieren (Weltbank, 1992a) Diese Unterschiede und daraus resultierende divergierende Anforderungs- und Wirkungspotentiale in Abhängigkeit der regionalen Gegebenheiten müssen bei der Beurteilung der Verwendbarkeit einzelner Verkehrsträger berücksichtigt werden.

Auswirkungen

Die Umweltauswirkungen des Verkehrs sind schon vielfach untersucht und bewertet worden (SRU, 1978; SRU, 1987). Man unterscheidet hierbei in der Regel zwischen jenen Auswirkungen,

- die auf den Ausbau und die Erhaltung der Verkehrinfrastruktur zurückzuführen sind, und solchen
- die aus den Transportvorgängen selbst resultieren.

Bei den erstgenannten stehen als *direkte Effekte*

- klimarelevante Verkehrsemissionen,
- regionale Schadstoffeinträge in die verschiedenen Umweltmedien,
- der "Flächenverbrauch",
- die lokale Beeinflussung der Bodeneigenschaften durch "Versiegelung", Verdichtung, usw.,
- die Zerschneidungseffekte (z.B. von Biotopen),
- die Veränderungen des regionalen Kleinklimas (Barriereeffekte) und
- die Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes

im Vordergrund. Hinzu treten als *indirekte Umwelteffekte*

- die umstrittenen Verkehrsinduzierungseffekte (Slogan: Wer Straßen sät, wird Verkehr ernten) sowie
- die umweltrelevante Beeinflussung des "modal split".

Unter der zweitgenannten Kategorie (*Effekte der Transportvorgänge*) behandelt man in der Regel

- die Schadstoffeinträge in die Umweltsektoren Luft, Wasser und Boden,
- den Verkehrslärm und die Erschütterungen,
- die mit den einzelnen Verkehrsmitteln verbundenen Abfallprobleme (Beseitigung von Altöl, Autoreifen, Kühlmitteln, Autowracks usw.) sowie

- die Unfallfolgen beim Transport von (gefährlichen) Gütern.

Bei vielen der aufgeführten Auswirkungen handelt es sich nur bedingt um global relevante Umweltprobleme. Die hierfür verantwortlichen Ursachen und ihre Beseitigung betreffen vor allem die Regierungen der einzelnen Länder oder die zuständigen Gebietskörperschaften. Anders sieht es hingegen dort aus,

- wo globale Effekte beobachtet werden können und
- zur Beseitigung problematischer Entwicklungstendenzen auf kleinräumiger Ebene eine internationale Abstimmung erforderlich ist.

Was die erstgenannte Gruppe betrifft, stehen gegenwärtig vor allem die klimarelevanten Verkehrsemissionen im Vordergrund. Der Rat möchte sie in den Mittelpunkt seiner Betrachtung stellen, da er hier - insbesondere im Gefolge der Klimaschutzdiskussion - auch primären Handlungsbedarf sieht. Dies gilt insbesondere für den CO_2-Eintrag in die Erdatmosphäre.

Es ist davon auszugehen, daß bis zum Jahre 2000 rund ein Fünftel aller globalen CO_2-Emissionen aus Verkehrsquellen stammen werden, wobei die Emissionen aus dem Bereich der Elektrizitätserzeugung und dem Verkehr in der Zeit von 1986 bis zum Jahre 2000 mit 48 % und 42 % die größte Steigerung erfahren können (RWI, 1993). Prüft man, wie sich die zu erwartenden Verkehrsemissionen regional verteilen, zeigt sich, daß der Anteil der höher entwickelten Länder zwar zurückgehen wird, ihnen aber im Jahre 2000 immer noch über die Hälfte aller CO_2-Emissionen zugeordnet werden muß. Zusammen mit Osteuropa werden auf sie rund drei Viertel aller Emissionen entfallen, die Entwicklungsländer werden jedoch erst für ein Viertel verantwortlich zeichnen. Anders sieht es bei den CO- und NO_X-Emissionen aus. Bei den ersteren geht der Anteil der OECD-Länder stark, bei den NO_X-Emissionen leicht zurück.

Hinter diesen Emissionen stehen Verkehrsleistungen. Besondere Beachtung verdient hierbei die Entwicklung im Bereich des Personenverkehrs, da hier die steigende Mobilität in besonderer Weise zum Ausdruck kommt und eine wachsende Weltbevölkerung eine verkehrsinduzierende Entwicklung auslöst. Noch konzentrieren sich die Transportleistungen (Personen-km) im Personenverkehr in starkem Maße auf die hochentwickelten Industrieländer, die Entwicklungsländer verzeichnen aber hohe Zuwachsraten.

Neben dem Verkehr im Bereich von Schiene und Straße ist unter globalen Aspekten auch der Flugverkehr wichtig. So haben die von diesem Verkehrsmittel in die Erdatmosphäre eingetragenen Schadstoffe aufgrund der Reisehöhe dieses Verkehrsmittels eine deutlich längere Verweildauer, hinzu kommen noch die Wasserdampfemissionen. Wenn die bisherigen Zusammenhänge zwischen Wirtschaftswachstum und Transportleistung im Flugverkehr auch künftighin gelten, muß von einem deutlichen Anstieg des Kraftstoffverbrauchs und damit

auch der klimarelevanten Emissionen in diesem Bereich ausgegangen werden. Diese Entwicklung geht vor allem von den OECD-Ländern aus.

Bewertung / Handlungsbedarf

Beschränkt man, was in diesem ersten Gutachten geschehen soll, die Betrachtung der globalen Umweltauswirkungen des Verkehrs primär auf die Schadstoffemissionen und in diesem Bereich wegen der dringlichen Klimaschutzpolitik auf die CO_2-Emissionen, so ergibt sich aus den Daten zur regionalen Verteilung der CO_2-Emissionen eindeutig, daß auch weiterhin dem Straßenverkehr, und zwar insbesondere jenem in den hochentwickelten Ländern sowie in Osteuropa eine besondere Bedeutung zukommen wird.

Eine Reduktion dieser verkehrsbedingten CO_2-Emissionen könnte primär ansetzen

- an der Reduktion des Kraftstoffverbrauchs der Fahrzeuge,
- an der Verringerung der Fahrleistung bzw. der Fahrzeugleistung sowie
- an der Änderung der Fahrleistungsverteilung auf die verschiedenen Verkehrsträger (Änderung des "modal split").

Den Spielraum zur Änderung des "modal split" sollte man zwar unbedingt nutzen, man darf ihn aber nicht überschätzen. Eingeschränkt wird er nämlich in den hochentwickelten Ländern durch eine vor allem in der Nachkriegszeit entstandene disperse Siedlungsstruktur, die kurz- und mittelfristig kaum beeinflußt werden kann, aufgrund ihrer Ausprägung weniger auf einen Knotenpunktverkehr ausgerichtet ist, sondern als Folge der Flächenerschließungswirkung des Straßen- bzw. Individualverkehrs angesehen werden muß. Hinzu tritt häufig ein - gemessen an Kriterien wie Bequemlichkeit oder Anpassungsfähigkeit an individuelle Bedarfe - Qualitätsgefälle zugunsten des Pkw-Verkehrs sowie - vor allem für bestimmte Strecken und Zeiten - begrenzte Aufnahmefähigkeit des umweltfreundlicheren Schienenverkehrs für eine zusätzliche Verkehrsnachfrage. Noch gravierender ist, daß - wie bereits betont wurde - in vielen Entwicklungsländern der Schienenverkehr fehlt oder sich in einem schlechten Zustand befindet. In manchen Fällen sind die natürlichen Wasserwege nutzbar. Vielfach fehlt es aber hier auch hier, wie bei der Schiene, an Geld für den Erhalt bzw. den Ausbau von Häfen und Anlagen.

Insofern müssen neben langfristige Überlegungen kurzfristige Anstrengungen treten, die sich vor allem auf die Reduktion des Kraftstoffverbrauchs sowie die Verringerung der Fahr- bzw. Fahrzeugleistung, und zwar insbesondere im Individual- und Straßengüterverkehr, konzentrieren. Berücksichtigt man die immer noch bestehende beachtliche Streuung im Kraftstoffverbrauch in Litern je Fahrzeug und Jahr, so gibt es selbst in den höher entwickelten Ländern durchaus noch Spielraum für eine weitere Reduktion des Kraftstoffverbrauchs. Es ist auch davon auszugehen, daß diese Länder zur Realisierung und Umsetzung dieses umwelttechnischen Fortschritts in der Lage sein müßten. Das politi-

sche Bestreben müßte darum dahin gehen, international den durchschnittlichen Kraftstoff-Verbrauch entscheidend z.B. auf Werte unter 6 Litern je 100 km zu verringern. Daraus ergibt sich zwangsläufig die Frage nach den Umsetzungsstrategien auf internationaler Basis, einschließlich der Bezugsgrößen Flotte oder Fahrzeug.

Was die Verringerung des Fahrleistungsvolumen betrifft, könnte dieses langfristig einmal durch die Implementation eines regional differenzierten, in der Methodik international abgestimmten Modells für gebührenpflichtige Straßenbenutzung geschehen (Ewers, 1991). Durch solche "road pricing"-Modelle würde sich nicht nur eine bessere Internalisierung der externen Kosten des Verkehrs realisieren lassen, vielmehr würde sich auch ein großer Spielraum für eine bessere Berücksichtigung regional differenzierter Handlungsoptionen ergeben, was den Interessen der Entwicklungsländer entgegenkäme. Außerdem würde damit eine feinere Angleichung der Nutznießer- und Kostenträgerstruktur entsprechend der "fiskalischen Äquivalenz" ermöglicht (Klemmer, 1991b). Dieser Ansatz würde insbesondere eine bessere Bewältigung der Nahverkehrsprobleme bzw. eine schnellere Reduktion der Belastung urbaner Räume mit Verkehrsemissionen versprechen. So zeigen bisherige internationale Erfahrungen mit regional entwickelten Verkehrsbeeinflussungsmodellen (z.B. Area Licensing System in Singapur, Electronic Road Pricing in Hong Kong) eindeutige Emissionsreduktionswirkungen (zur Beurteilung einiger internationaler Ansätze vgl. Frank und Münch, 1993).

Noch interessanter wäre jedoch der Versuch, die verkehrsbedingten Emissionsprobleme mit den analogen Emissionsproblemen anderer Bereiche und Regionen zu verknüpfen, wobei auch Nutzen-Kosten-Überlegungen einfließen sollten. Hierzu wäre es z.B. für das CO_2-Problem erforderlich, die Emissionsminderung im Bereich der Elektrizitätserzeugung, des Straßenverkehrs, des Luftverkehrs unter Berücksichtigung regionaler Belange miteinander zu verknüpfen.

Dies könnte über die Verbindung des Konzepts einer Flottenstandardlösung mit einer globalen Zertifikatsstrategie geschehen (Klemmer, 1993; RWI, 1993). Der Kerngedanke hierbei ist folgender: Jeder Automobilproduzent verkauft mit einem Neuwagen gleichzeitig ein auf eine bestimmte Kilometerzahl (etwa 150.000 km) beschränktes Nutzungsrecht. Ist dieses Nutzungsrecht abgelaufen, erlischt auch die Fahrerlaubnis für den Wagen, es sei denn, der Nutzer habe erneut ein auf eine bestimmte Kilometerzahl ausgestelltes Nutzungsrecht erworben. Ist letzteres teuer, wird das Bestreben des Fahrzeugbesitzers möglicherweise dahin gehen, über eine Verringerung der jährlichen Fahrzeugleistung den Nutzungszeitraum des erworbenen Wagens zu strecken. Damit wäre ein Anreiz für die Nutzung anderer Verkehrsträger bzw. eine Reduktion der jährlichen Fahrzeugleistung bzw. eine bessere Auslastung der Fahrzeuge gegeben.

In Abhängigkeit von dem Kraftstoffverbrauch des Wagens je 100 km ließe sich der mit einem bestimmten Nutzungsrecht verbundene Kraftstoffverbrauch und damit die bei voller Nutzung zu erwartenden CO_2-Emissionen - evtl. einer ganzen zum Verkauf anstehenden Flotte - bestimmen. Um einen Wagen verkaufen zu können, müßte der Pkw-Produzent vorweg auf einem nationalen oder internationalen Markt Emissionsrechte (Zertifikate) erwerben. Bei steigenden Zertifikatspreise ergäbe sich für viele Wirtschafsbereiche ein Anreiz, nach CO_2-mindernden Produktionsverfahren Ausschau zu halten. Für die Automobilproduzenten, die für eine ganze Flotte Emissionsrechte kaufen müsse, würde die Entwicklung kraftstoffsparender Typen lohnend und damit ein umweltpolitisch begrüßenswerter Suchprozeß initiiert.

Ein solcher Vorschlag wäre effizienter als eine Abgaben-Lösung. Angesichts der geringen Preiselastizität der Kraftstoffnachfrage und der zu erwartenden Widerstände im Bereich der Bevölkerung bzw. der regionalen Verteilungseffekte ist nämlich eine nur zögerliche Abgabenfestsetzung bzw. -anhebung zu erwarten. Damit sinkt die ökologische Effizienz des Abgaben- oder Steueransatzes. Unverkennbar ist auch, daß die Entwicklungsländer zur Lösung ihrer ökonomischen Probleme Verkehr induzieren müssen. Sie werden darum bei der Anhebung der Mineralölsteuer zurückhaltend sein, und zwar insbesondere dann, wenn der Straßenverkehr kurz- oder mittelfristig die einzige Verkehrsalternative darstellt und angesichts großer Räume regionale Verteilungseffekte zu erwarten sind. Entwickelt sich mit der Zertifikatslösung ein Markt, dessen Ergebnisse tendenziell den Entwicklungsländern zugute kommen, kann davon ausgegangen werden, daß diese der Zertifikatslösung eher zustimmen werden. Dies gilt vor allem dann, wenn sich die Erstzuteilung globaler Rechte (siehe 2.2) an der Bevölkerungszahl orientieren würde. Insofern empfiehlt der Beirat, diesen eben vorgestellten Vorschlag in die internationale Diskussion einzubringen, wobei es unter anderem notwendig ist, die länderspezifischen Gegebenheiten und die sich daraus ergebenden Bedingungen und Kontrollmöglichkeiten zu erörtern.

Forschungsbedarf

Neben der Vielzahl der an anderen Stellen bereits laufenden Forschungsvorhaben sollten besondere Untersuchungen über Umfang und Auswirkungen der globalen Umweltbelastungen durch den Flugverkehr durchgeführt werden.

2.4 Der Mensch als Verursacher und Betroffener globaler Umweltveränderungen: Psychosoziale Einflußfaktoren

Kurzbeschreibung

Viele globale Umweltveränderungen, die derzeit die Menschen mit Besorgnis erfüllen und Politiker und Umweltschützer aus aller Welt zur Konferenz von Rio de Janeiro 1992 zusammenkommen ließen, sind direkte oder indirekte Folgen menschlichen Handelns. So ist etwa der rapide Anstieg des Treibhausgases CO_2 vor allem Resultat der Verbrennung fossiler Brennstoffe, und zwar durch Heizen und Kühlen von Wohnungen und Arbeitsstätten, Autofahren, industrielle Produktionsprozesse usw. Viele dieser Tätigkeiten und Verhaltensweisen stehen in Zusammenhang mit ökonomischem Handeln. Aber nicht alles, was zu globalen Umweltveränderungen führt, ist auf diese ökonomische Ebene zu reduzieren, sondern geht auf alle möglichen alltäglichen Aktivitäten zurück, von liebgewordenen Gewohnheiten bis zu wert- und einstellungsgesteuerten, explizit beabsichtigten Verhaltensweisen.

Menschliches Handeln ist also daraufhin zu analysieren, welcher Stellenwert ihm für die Veränderungen von regionalen und globalen Systemzuständen zukommt. Weiterhin ist zu untersuchen, welche der umweltschädigenden Verhaltensweisen durch welche Strategien und Maßnahmen verändert werden können.

Globale Umweltveränderungen sind als Ergebnis der Wechselwirkung von Mensch und Umwelt zu verstehen. Dabei wird deutlich, daß Umwelt ein *relationaler* Begriff, d.h. immer auf eine Spezies bezogen ist.

Für die Spezies Mensch impliziert dies zweierlei:

(1) Umwelt ist notwendigerweise Korrelat menschlicher *Wahrnehmung* (oder allgemeiner: menschlicher Kognition). Das bedeutet, daß der Mensch nicht auf eine Welt "als solche" bezogen ist, sondern auf seine Umwelt, d.h. auf die Welt, so wie er sie wahrnimmt und versteht. Dies gilt sowohl für das alltägliche als auch für das wissenschaftliche Umweltverständnis.

(2) Umwelt ist notwendigerweise auch Korrelat menschlichen *Handelns*. Umweltgegebenheiten können *Ursache* oder Anreiz, ihre Veränderung aber auch *Ziel* und Zweck von Handlungen sein, und zwar mit *Mitteln* (z.B. Werkzeugen), die der Mensch seiner Umwelt abgerungen hat. Die Handlungsrelevanz von Umwelt zeigt sich somit in dreierlei Hinsicht: als Ursache, als Ziel und als Mittel menschlichen Handelns.

Veränderungen der Umwelt galten im Verständnis der Menschen lange Zeit als "natürliche" Prozesse, d.h. als Prozesse, die sich ohne Zutun des Menschen vollziehen. Die Bedeutung von Umwelt als etwas, das durch menschliches Verhalten verändert, verschmutzt oder auch zerstört werden kann, hat sich erst in jüngster Zeit im öffentlichen Bewußtsein durchgesetzt.

Wie bei jedem Handeln so lassen sich auch beim umweltbezogenen Handeln *beabsichtigte* und *unbeabsichtigte* Effekte unterscheiden. So wird z.B. gegenüber der "guten", vernünftigen Absicht einer Ertragssteigerung durch den Einsatz von Pestiziden die Dezimierung und schließlich die Ausrottung bestimmter Arten als unbeabsichtigte Neben- oder Spätfolge angesehen. Auch die jetzt als potentiell bedrohlich erkannten globalen Umweltveränderungen sind teilweise solche letztlich unbeabsichtigten Effekte menschlichen Handelns.

Allerdings fangen wir langsam an zu lernen, in vernetzten Systemen zu denken, und sind daher besser in der Lage, Neben- oder Spätwirkungen von vornherein ins Kalkül zu ziehen, d.h. als in einem vernetzten System potentiell gleich bedeutsame Wirkungen zu verstehen. Dieses Denken in vernetzten Systemen fällt, wie die entsprechende Forschung zeigt, sehr schwer und wird nur mühsam gelernt. Doch erst wenn wir imstande sind, in diesem Sinne systemisch zu denken, gewinnen wir Einsicht in unsere *Verantwortlichkeit auch für Neben- oder Spätwirkungen*. Dieser Einsicht entspricht auch die Notwendigkeit, eine neue, die Umwelt umgreifende *Ethik* zu entwickeln.

Globale Umweltveränderungen als Ergebnis der Wechselwirkung von Mensch und Umwelt zu fassen bedeutet, daß menschliches Handeln einerseits Ursache für die Veränderungen ist, andererseits von diesen Veränderungen auch betroffen wird und des weiteren als Reaktion darauf (oder in Antizipation möglicher Effekte) wirksam werden kann. Der Mensch ist also Verursacher, Betroffener und potentieller Bewältiger von globalen Umweltveränderungen. Wenn das, was wir heute als ökologische Krise oder als bedrohliche globale Umweltveränderungen bezeichnen, in seinen Ursachen wie in seinen Wirkungen auf menschliches Verhalten verweist, so muß gefolgert werden, daß wir es mit einer Krise der Mensch-Umwelt-Beziehungen, oder - konkreter - mit einer *Krise fehlangepaßten Verhaltens* zu tun haben.

Globale Umweltveränderungen (mit negativen Folgen für Menschen, Tiere und Pflanzen) in Umfang, Intensität oder Geschwindigkeit zu vermindern bzw. in eine zukunftsfähige Entwicklung zu überführen, impliziert eine Veränderung menschlichen Handelns gegenüber der Umwelt und setzt Umweltbildung und Umwelterziehung voraus. Mit der Entwicklung von "Umweltbewußtsein" oder umweltrelevanten Werten ist es dabei nicht getan. Vielmehr ist es notwendig, mehr über die multiplen Bedingungen umweltrelevanten Verhaltens und die Möglichkeiten seiner Veränderung zu wissen, um adäquate politische, ökonomische, soziale und technische Strategien initiieren zu können.

Daher sind bei der Analyse globaler Umweltveränderungen auch die Humanwissenschaften gefordert, speziell die Sozial- und Verhaltenswissenschaften (z.B. Psychologie, Soziologie, Ökonomie, Kulturanthropologie). Die sozial- und verhaltenswissenschaftliche Forschung hat die Problematik globaler Umweltveränderungen bisher noch kaum aufgegriffen. Die wenigen relevanten Forschungen sind meist Fallstudien, sie beziehen sich in der Regel auf kleinere (regionale, eventuell nationale) räumliche Einheiten. Auch die bisher berücksichtigten Zeiträume sind zu kurz. Kulturübergreifende oder gar kulturvergleichende Forschung zu globalen Umweltveränderungen existiert kaum. Auch interdisziplinäre Forschung innerhalb der Sozial- und Verhaltenswissenschaften sowie zwischen Sozial- und Naturwissenschaften ist bisher nur schwach entwickelt worden. So sind die Sozial- und Verhaltenswissenschaften gefordert, aufzuklären und genauer zu untersuchen,

- welche gesellschaftlichen Veränderungen Art und Ausmaß der Veränderungen der Natursphäre beeinflussen könnten,
- welche Rolle individuelles und kollektives Handeln von Menschen für die globalen Umweltveränderungen spielt und welche Ursachen diesen Handlungsmustern zugrundeliegen,
- wie Menschen globale Umweltveränderungen wahrnehmen und bewerten,
- wie sie auf wahrgenommene oder aber antizipierte Umweltveränderungen adaptiv reagieren und präventiv agieren und welche Barrieren für Verhaltensänderungen bestehen,
- wie Veränderungen innerhalb der Anthroposphäre die Menschheit weniger verwundbar für globale Umweltveränderungen werden lassen, und
- wie solche Verhaltensänderungen motiviert und durch politische und Verwaltungsmaßnahmen in Gang gebracht werden können.

Es ist hier nicht beabsichtigt, einen "*state of the art*"-Bericht zu geben, um auf dieser Basis Handlungsempfehlungen für Forschung und Politik zu formulieren. Der Schwerpunkt des vorliegenden Kapitels liegt vielmehr auf der Entfaltung eines konzeptuellen Rahmens und dem Hinweis auf exemplarische Befunde. Dabei wird zunächst eine vorwiegend psychologische Sichtweise eingenommen und damit das Verhalten von Individuen und kleinen Gruppen betont. Die Datenlage umfassender zu klären und zu bewerten, muß weiteren Gutachten des Beirats vorbehalten bleiben. Auf die beiden Themenfelder "Risikowahrnehmung und -akzeptanz" sowie "umweltrelevante Werte" soll jedoch etwas ausführlicher eingegangen werden, da für diese Themen bereits einige Forschungsergebnisse vorliegen. Die Forschungsempfehlungen beziehen sich vor allem auf die Überwindung der defizitären Situation in den einzelnen Sozial- und Verhaltenswissenschaften, auf die Notwendigkeit transdisziplinärer Ansätze innerhalb der Sozial- und Verhaltenswissenschaften sowie auf die Entwicklung von Forschungsansätzen, die Sozial- und Naturwissenschaften

zusammenführen, und auf die dafür erforderlichen Forschungsförderungsstrukturen.

Politische Handlungsempfehlungen werden hergeleitet aus bisher gewonnenen Erkenntnissen der sozial- und verhaltenswissenschaftlichen Umweltforschung. Sie orientieren sich an der Notwendigkeit zur Vorsorge angesichts potentiell riskanter Szenarien.

Ursachen

Außerordentlich viele menschliche Aktivitäten, die im Zusammenhang mit Landnutzung, Erschließung von Bodenschätzen, Rohstoff- und Energieverbrauch, industriellem Wirtschaften oder Mobilität stehen, können als *unmittelbare Ursachen* globaler Umweltveränderungen angesehen werden. Diesen liegen als *treibende Kräfte* Bevölkerungswachstum und -verteilung, Wirtschaftswachstum, technologische Entwicklung, politische und ökonomische Strukturen, aber auch individuelle Wahrnehmungen, Einstellungen, Werthaltungen, Motive und Bedürfnisse zugrunde (die somit *indirekt* auf globale Umweltzustände wirken). Bedürfnisse werden u.a. geprägt und beeinflußt durch kulturelle, historische, ökonomische, technologische und psychologische Variablen, die wiederum den Rahmen für die Entfaltung menschlicher Aktivitäten definieren, d.h. sie ermöglichen oder einschränken.

Wahrnehmung, Werthaltungen, Motive usw. und damit verbundene Verhaltensweisen spielen allein, aber auch in Wechselwirkung mit weiteren treibenden Kräften, eine bedeutsame Rolle als Ursachen für globale Umweltveränderungen. Ob z.B. ökonomisches Wachstum und damit verbunden höhere Einkommen von Individuen in vermehrte Fernreisen, ein größeres Auto oder aber in die eigene Weiterbildung investiert werden, kann u.a. vom vorherrschenden Wertesystem, aber auch von den sozialen Normen der Eigengruppe oder dem Werbeerfolg der Wirtschaft abhängen und dementsprechend unterschiedliche Auswirkungen auf globale Umweltbedingungen haben. Den Beitrag menschlicher Aktivitäten in ihrer multiplen Bedingtheit für die verschiedenen Aspekte globaler Veränderungen zu klären, ist ein wichtiges Ziel aller "*Human Dimensions*"-Programme (Jacobson und Price, 1990; Stern et al., 1992). Seine Erforschung ist nur interdisziplinär möglich.

Wenn nun Wahrnehmung, Werthaltungen, Motive usw. als eine Art möglicher Ursachen für umweltrelevantes Handeln untersucht werden sollen, ist es zunächst erforderlich, entsprechende Handlungsmuster zu identifizieren und in ihrer Bedeutung für globale Umweltveränderungen zu bestimmen, also: Wieviel trägt welches Verhaltensmuster zu welchen globalen Umweltveränderungen bei ? Für einige Phänomene globaler Umweltveränderungen (z.B. für anthropogene Treibhausgase) liegen dazu bereits Schätzungen vor (Abbildung 14), für andere sind die unmittelbaren Verhaltensursachen noch wenig erforscht oder quantifiziert.

Die relative Bedeutung einzelner Klassen von Verhaltensweisen für bestimmte globale Umweltveränderungen zu kennen, ist wichtig, um die Forschung zu leiten, um Szenarien künftiger Entwicklung zu entwerfen, aber auch, um Interventionsmaßnahmen an der richtigen Stelle anzusetzen. Wenn etwa bekannt ist, daß nur ein Drittel der Energie in Deutschland von privaten Haushalten, zwei Drittel aber von der Industrie, von öffentlichen Einrichtungen und im Verkehr verbraucht werden, kann mit der Untersuchung der Bedingungen von *Verbraucherverhalten* und seiner Veränderung nur ein Teilaspekt der relevanten Verhaltensproblematik aufgegriffen werden. Wenn allerdings, wie Zahlen des US-Energieministeriums von 1989 belegen, im Bereich privaten Wohnens ein hohes Potential und eine entsprechende Motivation zum Energiesparen gefunden werden (ein Drittel aller Einsparungen zwischen 1972 und 1986 lagen in diesem Sektor, hingegen nur 10 % im Bereich Verkehr), dann wäre es widersinnig (und unökonomisch), solche Potentiale nicht zu nutzen (Kempton et al., 1992).

Um Ursachen und Folgen globaler Umweltveränderungen zu thematisieren, sind folgende analytische Unterscheidungen sinnvoll:

(1) Zu unterscheiden ist zwischen verschiedenen *typischen Arten* von Verhalten hinsichtlich ihrer Relevanz für globale Umweltveränderungen: *Einmalige Investitionen* (z.B. Isolierung der Wohnung) oder die Änderung *alltäglicher Verhaltensweisen* (z.B. Absenkung der Raumtemperatur) sind nicht nur für das angestrebte Ziel (Einsparung fossiler Brennstoffe, CO_2-Minderung) unterschiedlich effektiv, sondern auch für das Individuum mit unterschiedlichen "Kosten" verbunden (einmalige finanzielle Aufwendung bzw. alltäglicher Aufwand an Zeit, Mühe, Geld, Verzicht auf Komfort). Zudem ist zwischen Maßnahmen für *kurzfristig* wirkende Verhaltensänderungen (z.B. Preispolitik) und für erst *langfristig* zu erwartende Veränderungen von Werthaltungen und Einstellungen (z.B. Umweltbildungsmaßnahmen) zu unterscheiden.

(2) Umweltrelevantes Verhalten findet auf verschiedenen *Ebenen* individuellen und gesellschaftlichen Handelns statt (von individuellen Verhaltensweisen über gemeinschaftliches Handeln auf der Ebene von Familien, Betrieben, Gemeinden, Ländern bis hin zu den Ebenen nationaler und internationaler Organisationen). Diese sind jeweils gesondert, aber auch in ihren Wechselwirkungen zu betrachten. Wahrnehmungen, Wissen, Werthaltungen usw. kommt jedoch auf jeder dieser Ebenen besonderes Gewicht zu. Die Analyse von Verhaltensweisen (und ihrer Bedingungen) mit direkter Umweltwirkung ist daher genauso wichtig wie die Analyse des Beitrags individuellen Verhaltens zu kollektiven Handlungsmustern (Wahlverhalten, Partizipation in "grünen" Bewegungen). Um ihre jeweilige Bedeutung für globale Umweltveränderungen oder deren Bewälti-

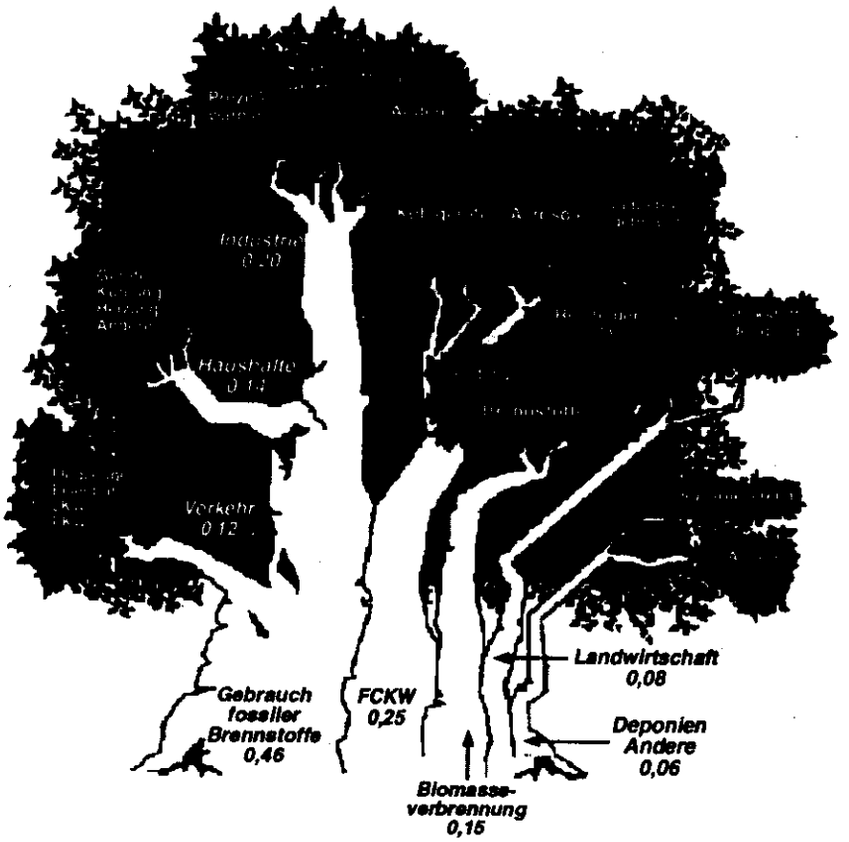


Abbildung 14: Relative Anteile verschiedener menschlicher Aktivitäten am Treibhauseffekt
(Nach Stern et al., 1992)

gung und Prävention zu erkennen und zu erfassen, bedarf es weiterer empirischer Forschung.

(3) Menschen haben innerhalb umweltrelevanter Prozesse verschiedene *Rollen* und *Funktionen* inne. Sie sind alle *Konsumenten* (Verbraucher), einige von ihnen sind *Produzenten*; andere sind *Funktionäre* im Dienstleistungssektor oder *policy makers* auf verschiedenen Ebenen, auf denen strategische und taktische Entscheidungen getroffen werden. Von besonderer Bedeutung ist die Rolle von Journalisten und anderen *Multiplikatoren* von Meinungen und Wertungen zu umweltrelevanten Sachverhalten in den verschiedenen Massenmedien.

Die kategoriale (Wahrnehmung, Wissen, Einstellungen, Werthaltungen, Motive usw.) und methodische Bestimmung der Determinanten von Verhalten, das globale Umweltveränderungen verursacht, und der Determinanten für die Auswirkungen globaler Umweltveränderungen auf das Verhalten sind ähnlich: Das heißt, *Verhalten ist nicht nur eine Funktion seiner Bedingungen, sondern auch seiner Folgen* und zwar in einem doppelten Sinne:

- Viele Reaktionen auf Umweltreize sind nicht nur Anpassungen des Verhaltens auf eine relativ unveränderte Umwelt, sondern sind Veränderungen der Umwelt. Dadurch ist die Reizvorlage für das darauf folgendes Verhalten eine andere und so fort.
- Je nachdem, welche Konsequenz Verhalten im Sinne einer Bekräftigung hat, erhöht oder vermindert sich die Wahrscheinlichkeit dieses Verhaltens.

In beiden Fällen ist die Wirkung eine veränderte Ursache für das Folgeverhalten: Das Überhandnehmen bestimmter getreideschädigender Insekten ist z.B. Ursache für den Einsatz von Insektiziden. Handlungsergebnis ist einerseits die Dezimierung der Schadinsekten, aber auch der von ihnen lebenden Vogelarten. Die Wahrnehmung und Bewertung dieser Situation kann wiederum Anlaß bzw. Ursache für weitere Verhaltensweisen werden.

Die derartige Handlungsseqenzen steuernden Bedingungen werden daher gemeinsam im Abschnitt "Determinanten umweltschädigenden und umweltverträglichen Verhaltens" behandelt.

Folgen

Ebenso bedeutsam ist die Betrachtung von Wahrnehmung, Wissen, Werten und Handlungen, wenn es um die *Folgen* globaler Umweltveränderungen geht. Dabei ist zu beachten, daß die Menschen nicht nur auf bereits eingetretene, sondern auch auf antizipierte Umweltveränderungen reagieren können. Weiterhin ist zu berücksichtigen, daß globale Umweltveränderungen nicht auf eine inaktive, starre Gesellschaft stoßen, sondern daß diese Gesellschaft in (oft

sehr rascher) Bewegung ist und sich unabhängig von Umweltveränderungen oder auch diese antizipierend wandelt (bevor der Meeresspiegel bedrohlich ansteigt, werden die Menschen z.B. Dämme gebaut haben oder ausgewandert sein). Nichtsdestoweniger werden globale Umweltveränderungen mit ihren je spezifischen lokalen und regionalen Auswirkungen für viele Menschen und Gesellschaften "Streß" bedeuten, und häufig werden (zunächst) diejenigen am meisten betroffen sein, die am wenigsten zu ihrer Verursachung beigetragen haben. Umso wichtiger ist es zu wissen, wie solche Umweltstressoren wahrgenommen und bewertet werden, und wie Menschen und Gesellschaften darauf reagieren.

Reaktionen auf globale Umweltveränderungen können einerseits als *Anpassung* ("adaptation") an bereits eingetretene oder antizipierte Veränderungen stattfinden. Dadurch werden nicht die Umweltveränderungen selbst beeinflußt, sondern der Versuch unternommen, die Auswirkungen dieser Umweltveränderungen auf menschliches Leben und Wohlbefinden und das, was Menschen wertschätzen, zu begrenzen. Andererseits können Handlungsweisen der Vermeidung oder *Milderung* ("mitigation") dienen, um unerwünschte globale Umweltveränderungen zu verhindern, zu begrenzen oder zu verzögern. Diese Handlungen können an verschiedenen Stellen der Verknüpfung von Natur- und Anthroposphäre ansetzen (Stern et al., 1992) (Abbildung 15).

Besondere Bedeutung kommt Verhaltensweisen in Antizipation von Umweltveränderungen zu. Sie können einerseits präventiv wirken im Hinblick auf die Entstehung globaler Umweltveränderungen, auch bevor man im einzelnen verstanden hat, welchen Beitrag menschliche Handlungen zu globalen Umweltveränderungen leisten. Andererseits bieten sie die Chance, die menschliche Gesellschaft auf mögliche Folgen globaler Umweltveränderungen vorzubereiten und ihre Fähigkeiten zur Bewältigung dieser Veränderungen zu erhöhen (damit diese beispielsweise nicht unvorbereitet von Dürren, steigendem Meeresspiegel, vermehrter UV-B-Strahlung getroffen wird).

Die Folgen globaler Umweltveränderungen werfen eine Fülle von Forschungsfragen für die Sozial- und Verhaltenswissenschaften auf. Wichtige Problemstellungen sind hierbei:

- Die unterschiedliche Wahrnehmung und Bewertung globaler Umweltveränderungen durch Laien und Experten, durch Politiker und Wirtschaftsführer, durch Reiche und Arme. Dies geschieht vor allem aufgrund der schleichend ablaufenden und selten sichtbaren Umweltveränderungen, die den Zusammenhang zwischen Ursachen und Wirkungen nicht erkennen lassen. Ein generelles Problem ist die Ungewißheit des Eintretens und des Verlaufs solcher Veränderungen.

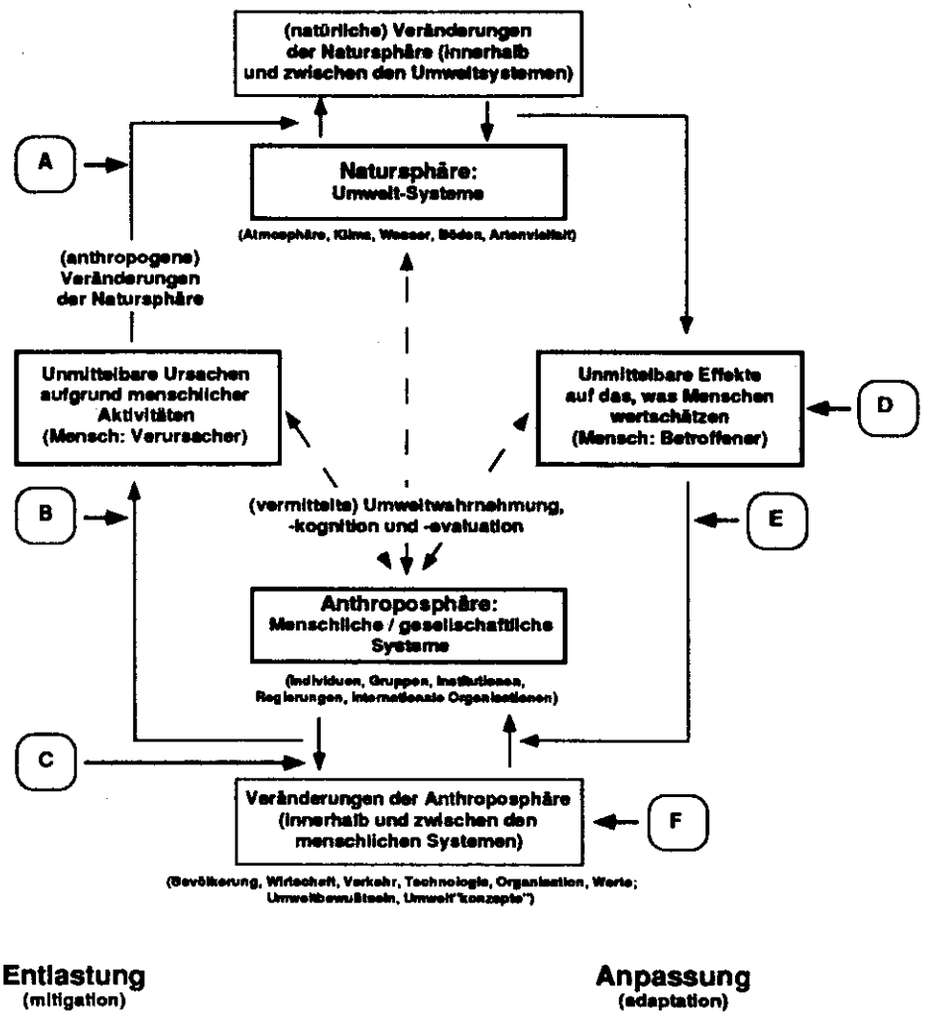


Abbildung 15: Schema möglicher Maßnahmen zur Bewältigung von globalen Umweltveränderungen *(Nach Stern et al., 1992)*

Zwei prinzipielle Arten von Maßnahmen werden unterschieden:

1. Entlastung (mitigation): Diese Gruppe möglicher Bewältigungsmaßnahmen (A-C) zielt darauf ab, auf Seiten der menschlichen Ursachen zu intervenieren und so Auswirkungen auf die Natursphäre durch die Vermeidung, Verringerung oder Verzögerung anthropogener Wirkungen zu mildern. Sie umfaßt Maßnahmen die,
   (A) negative Effekte menschlichen Verhaltens unmittelbar in der Natursphäre ausgleichen (korrektive Maßnahmen, z.B. Renaturierung geschädigter Landschaften)
   (B) das Zustandekommen solcher Effekte verhindern (präventive Maßnahmen, z.B. Verordnungen zur Reduktion von Emissionen), oder
   (C) die menschlichen/gesellschaftlichen Systeme unmittelbar beeinflussen (z.B. Entwicklung alternativer Technologien, Weckung bzw. Veränderung des Umweltbewußtseins, Begünstigung eines Wertewandels)
2. Anpassung (adaptation). Die zweite Gruppe möglicher Bewältigungsmaßnahmen (D-F) betrifft Interventionen hinsichtlich der Auswirkungen globaler Umweltveränderungen auf die Anthroposphäre, vor allem im Sinne einer Anpassung an bereits eingetretene oder aber antizipierte Umweltveränderungen. Dazu gehören etwa Maßnahmen
   (D) zur Verhinderung negativer Umwelteffekte auf den Menschen (z.B. Bau von Dämmen, Benutzung von Sonnenschutzmitteln, Entwicklung trockenheitsresistenter Getreidesorten)
   (E) zur - im weitesten Sinne - kurativen Behandlung bereits eingetretener bzw. drohender Schäden (z.B. Evakuierung überflutungsbedrohter Gebiete, Abschluß von Versicherungen für den Schadensfall), oder
   (F) zu einer (präventiven) Verringerung der Vulnerabilität des menschlichen gesellschaftlichen Systems gegenüber globalen Umweltveränderungen (z.B. Diversifikation von Anbaukulturen anstatt Monokulturen).

- Die Änderung umweltschädigender individueller und kollektiver Handlungsmuster entweder direkt über den Ansatz an konkreten Verhaltensweisen oder indirekt über die Veränderungen von globalen Werten und Überzeugungssystemen sowie von individuellen Werthaltungen und Einstellungen.

- Die Auswirkungen von Wertewandel und Einstellungsänderungen auf das allgemeine Meinungsklima, auf Lebens- und Konsumstile, politisches Wahlverhalten, die Entstehung ökologischer Bewegungen und anderer Nicht-Regierungsorganisationen sowie auf die Ablehnung oder Unterstützung umweltpolitischer Maßnahmen.

Die Vorhersage der Auswirkungen globaler Umweltveränderungen, die erst in ferner Zukunft stattfinden mögen, auf menschliche Verhaltensweisen ist schwierig und mit einem hohen Maß an Unsicherheit behaftet, da man nur wenig weiß über

- den zukünftigen (regionalen) Zustand der Natursphäre,
- die sozialen, ökonomischen und politischen Strukturen, unter denen die Betroffenen dann leben werden,
- die Wahrnehmungen, Werthaltungen und Motive späterer Generationen,
- die Auswirkungen von globalen Umweltveränderungen auf das, was diese Generationen dann wertschätzen, und über
- Art und Ausmaß, wie die menschliche Gesellschaft präventiv auf antizipierte globale Umweltveränderungen oder reaktiv auf eingetretene Veränderungen antwortet.

Dennoch wird eine Reihe der im folgenden behandelten Verhaltensdeterminanten wohl auch für zukünftige Generationen Gültigkeit haben. Welche Bedeutung sie jedoch im Kausalsystem der Elemente von Natur- und Anthroposphäre haben werden, ist ungewiß.

Determinanten des Verhaltens

Im folgenden sollen einige Forschungs- und Interventionsfelder behandelt werden, die für das Verständnis der Wechselwirkung zwischen Natursphäre und Anthroposphäre wesentlich sind. Sie und ihre möglicherweise kulturspezifischen Variationen sind zu berücksichtigen, wenn unsere Gesellschaft bzw. die Menschheit insgesamt eine "zukunftsfähige Entwicklung" anstrebt.

Umwelt als soziales Konstrukt

Für alle Forschungs- und Interventionsfelder gilt als wichtige Prämisse, daß Umwelt als "soziales Konstrukt" verstanden und behandelt wird. Das heißt zunächst einmal: Umwelt ist subjektives Korrelat menschlicher Wahrnehmung und menschlichen Verhaltens. Die wahrgenommene oder erlebte Umwelt ist dabei oft wichtiger, d.h. handlungswirksamer als die objektiv meßbare Umwelt

(wobei Wahrnehmung immer selektiv und perspektivisch ist, d.h. rollen- und hypothesengeleitet vonstatten geht).

Als Korrelate menschlichen Wahrnehmens, Denkens, Fühlens und Handelns werden Umweltgegebenheiten in verschiedenen *Bedeutungen* (Wertigkeiten, Valenzen) als attraktiv oder abstoßend, als harmlos oder gefährlich erlebt. Derartige Bedeutungen sind nicht Eigenschaften der Dinge, Orte oder Zustände, sondern Korrelate menschlicher Fähigkeiten, Wünsche, Bedürfnisse, Stimmungen und Ziele. Entsprechend wandeln sich manche Bedeutungen von einem Augenblick zum nächsten (der strahlend schöne Apfel wird als "verstrahlt" erkannt), während andere ein Leben lang anhalten (z.B. der Reiz des Meeres oder des Hochgebirges).

Manche Bedeutungen werden aufgrund eigener Erfahrung erworben, andere werden angeeignet/gelernt durch die Vermittlung von Eltern, Lehrern oder durch Medien (Bücher, Zeitungen, Filme), über Gebote und Verbote, oder einfach schon über bestimmte Etikettierungen (z.B. als schön oder eßbar, häßlich oder ungenießbar, prestigefördernd oder "unmöglich"). Welche Bedeutungen erworben werden, hängt nicht nur von Alter, Geschlechterrolle, sozioökonomischem Status, Persönlichkeitsmerkmalen usw. ab, sondern auch vom jeweiligen soziokulturellen, politisch-ökonomischen Kontext.

Umweltbedeutungen werden nicht unmittelbar wahrgenommen, sondern durch soziale Kommunikation - im unmittelbaren, interpersonalen Kontakt oder durch Medien - vermittelt. Die Art und Weise, wie z.B. von Experten, politischen Parteien, Journalisten, Wirtschafts- oder Verbrauchervertretern oder von den Leuten auf der Straße über Umwelt, Umweltprobleme oder die "ökologische Krise" geredet und verhandelt wird, bestimmt den *Umweltdiskurs* in einer Gesellschaft (Kasten Umweltdiskurs) und ist wesentlicher Bestandteil der sozialen bzw. gesellschaftlichen Konstruktion von Umwelt.

Mit der Rede von *Umwelt als gesellschaftlicher Konstruktion* (Graumann und Kruse, 1990) wird ein Konzept aus der Wissenssoziologie aufgegriffen (Berger und Luckmann, 1970), das in der Sozio-Psychologie im Begriff der sozialen Repräsentation eine Entsprechung hat (Moscovici, 1981und 1982) und auf kollektive, gesellschaftlich geteilte Wissensbestände, Werthaltungen und Praktiken verweist.

Gesellschaftliche Konstruktionen von Umwelt sind in unterschiedlichen, selbst in eng benachbarten Gesellschaften verschiedenartig, also kulturspezifisch ausgebildet (Douglas und Wildavsky, 1982; Johnson und Covello, 1987). Ein treffendes, auch politisch relevantes Beispiel ist die unterschiedliche Konzeption, Bewertung und Behandlung des "Waldsterbens" in Deutschland und Frankreich (Kruse, 1989; Roqueplo, 1988). Auch die Behandlung des Robbensterbens, der Lebensmittelbelastung durch Schadstoffe oder der globalen

Klimaveränderungen weist politikrelevante nationale Bedeutungs- und Bewertungsunterschiede auf, die man kennen muß, wenn man sich auf das Feld internationaler Arbeit begibt, um die ja immer auch lokalen/nationalen Probleme globaler Umweltveränderungen in den Griff zu bekommen.

Umweltdiskurs

Ein wichtiger Bestandteil der gesellschaftlichen Konstruktion von Umwelt ist der *Umweltdiskurs*.
Es macht einen großen Unterschied, ob man einen Naturpark als "verwildert" oder "naturbelassen" ansieht, von "Müllkippen" oder "Entsorgungsparks", von "Giftmüll" oder von "Sonderabfall" spricht, ob man "Müll verbrennt" oder "Reststoffe thermisch behandelt", ein Unglück als "Katastrophe" oder als "Störfall" bezeichnet. "Ungeziefer", "Schädlinge", "Raubtiere" legen schon vom Begriff her nahe, vom Menschen bekämpft zu werden, während "Nützlinge und "seltene Arten" geschützt werden sollen.
Zum heutigen Umweltdiskurs gehört vor allem ein Krisen- und Gefährdungs-, sowie zunehmend ein Betroffenheitsvokabular (Nothdurft, 1992; von Prittwitz, 1992).

Die soziale Repräsentation von Umwelt und der verbale Umweltdiskurs sind bereits wichtige Variablen der Beziehung des Menschen zu seiner Umwelt, denen eine bisher noch kaum erforschte Rolle bei der Entwicklung bzw. Veränderung von Einstellungen und Verhaltensweisen gegenüber globalen Umweltveränderungen zukommt. Weitere Faktoren müssen berücksichtigt werden, wenn man menschliche Aktivitäten als Ursache globaler Umweltveränderungen verstehen sowie die Anpassungsreaktionen an und Maßnahmen zur Prävention bzw. Milderung globaler Umweltveränderungen beeinflussen will.

Zukunftsfähige Entwicklung setzt "ökologisch verantwortliches Verhalten" (Lipsey, 1977) voraus, d.h. ein Verhalten, das geeignet ist, der Degradierung der Umwelt entgegenzuwirken und Ressourcen zu schonen. Es ist unmittelbar einleuchtend, daß es hierbei um eine Vielzahl unterschiedlicher Verhaltensweisen von einzelnen Individuen oder Milliarden von Menschen gehen kann, in unserer Kultur z.B. um Abfallvermeidung, Wertstoffrecycling, den Einsatz ausgereifter Techniken zur Minderung der Luft- und Wasserverschmutzung, ökologisch verträgliche Landbaumethoden, Energie- und Wassersparen oder die Verminderung privater Pkw-Nutzung.

In der Öffentlichkeit, in der Politik, aber auch bei manchen Wissenschaftlern ist die Ansicht weit verbreitet, daß all diesen Verhaltensweisen eine einheitliche Einstellung oder Werthaltung zugrundeliegt (z.B. eine saubere, intakte Umwelt zu haben), die häufig als "Umweltbewußtsein" bezeichnet wird. Demnach wären Anstrengungen zur (weltweiten) Verbesserung dieses Umweltbewußtseins der beste Weg für die Entwicklung ökologisch verantwortlichen Handelns. Dabei stehen vor allem eine umfassende Information zur

Verbesserung des Wissens sowie Appelle zur Förderung pro-ökologischer Einstellungen im Vordergrund. Aus der sozialpsychologischen Einstellungsforschung ist jedoch seit langem bekannt, daß zwischen Werthaltungen und Einstellungen einerseits und tatsächlichem Verhalten andererseits häufig nur ein schwacher Zusammenhang besteht. Weitere handlungssteuernde Bedingungen müssen daher mitberücksichtigt werden.

Andere Teile der Öffentlichkeit, der Politiker und Wissenschaftler bauen eher darauf, daß z.B. das Problem der Ressourcenschonung im wesentlichen durch technologische Entwicklungen zu lösen sei, oder daß das Verhalten von Konsumenten und Produzenten vor allem über Preise und finanzielle Anreize gesteuert werden könne. Auch diese Ansätze sind, ausschließlich oder einseitig eingesetzt, weit weniger erfolgreich als angenommen, da sie oft von politisch unrealistischen, gelegentlich auch psychologisch naiven Annahmen ausgehen. Schließlich zielen alle diese Maßnahmen letztlich auf langfristige und stabile Verhaltensänderungen, also auf die Umwandlung von umweltschädigendem in umweltverträgliches Verhalten.

Dabei muß berücksichtigt werden, daß umweltschädigendes wie umweltverträgliches Verhalten von vielen Faktoren abhängig ist, deren jeweiliges Gewicht für einzelne Verhaltensweisen bei verschiedenen Menschen in Abhängigkeit vom jeweiligen ökologischen, kulturellen, ökonomischen und technologischen Kontext variiert. Die empirische Erfassung dieser Unterschiede ist bisher nur für wenige Verhaltensmuster, z.B. für das Energiesparen, und wenige Kontexte einigermaßen umfassend in Angriff genommen worden. Auch wenn globale Umweltveränderungen anderen Voraussetzungen unterliegen, lassen sich doch aus der Energiesparforschung der 70er Jahre wertvolle Erkenntnisse gewinnen.

Ohne hier einem bestimmten Modell zur Konzeptualisierung von umweltbezogenem Handeln den Vorzug geben zu wollen - deren werden viele gehandelt (Fietkau und Kessel, 1981; Stern und Oskamp, 1987) - gilt es, einen Rahmen zu skizzieren, der einige wichtige Variablen enthält, die auf das umweltrelevante Handeln von Menschen Einfluß haben können.

Wesentliche Einflußfaktoren für die Entwicklung, Änderung und Stabilisierung von Verhalten sind

- die Wahrnehmung und Bewertung von Umweltgegebenheiten,
- umweltrelevantes Wissen und Informationsverarbeitungsprozesse,
- Einstellungen und Werthaltungen,
- Handlungsanreize (Motivationen, Verstärker),
- Handlungsangebote und -gelegenheiten,
- wahrnehmbare Handlungskonsequenzen (*feedback*).

Zwischen diesen Faktoren gibt es vielfache *Wechselbeziehungen*, die sich ganz grob folgendermaßen skizzieren lassen: Umweltrelevantes (schädigendes wie schützendes) Verhalten ist abhängig von Anreizen, die zu einem bestimmten Verhalten motivieren (z.B. finanzielle Anreize, soziales Prestige), von Handlungsgelegenheiten (Vorhandensein des Öffentlichen Nahverkehrs als Alternative zum Individualverkehr, von Wertstoffcontainern zur Abfalltrennung) und von Einstellungen und Werthaltungen, die sowohl das Handeln, aber auch den Erwerb von Wissen und andere Informations(verarbeitungs)prozesse beeinflussen können. Wahrgenommene Verhaltenskonsequenzen (z.B. durch Rückmeldung über Stromeinsparung im Haushalt) können sich wiederum auf Einstellungen, aber auch auf die Aufnahme und Verarbeitung weiterer Information auswirken.

Die für die Verhaltensursachen von globalen Umweltveränderungen wie für die Reaktion auf ihre Folgen relevanten psychosozialen Faktoren und Prozesse werden in den folgenden Abschnitten näher erläutert.

Kognitionen (Wahrnehmung und Beurteilung) globaler Umweltzustände und -veränderungen

Für viele Umweltzustände und Umweltveränderungen hat der Mensch keine Sinnesorgane: Sie werden nicht sinnfällig. Das Ozonloch sieht, hört und riecht man nicht (Problem der absoluten Schwelle). Nicht erfahrbar sind auch Veränderungen, die so minimal sind, daß sie unterhalb der Schwelle des "eben merklichen Unterschieds" liegen oder bei denen die zeitliche Distanz zwischen Umwelteingriff und Auftreten der Effekte sehr groß ist. Ein mittlerer Temperaturanstieg von 0,5 Grad über mehrere Jahrzehnte etwa ist als "Signal" aus dem "Rauschen" der allgemeinen Temperaturvarianz nicht herauszufiltern. Ähnliches gilt für die zeitliche Distanz zwischen dem unmittelbaren Nutzen eines umweltschädigenden Verhaltens und den langfristigen Schäden/Kosten für das Individuum bzw. für die Gesellschaft (siehe unten zum *commons dilemma*). Zum Problem der zeitlichen Distanz kommt das der räumlichen (oder auch noch sozialen) Distanz zwischen Verursachern und Betroffenen von Umweltveränderungen, wenn z.B. im industrialisierten Norden Raubbau an der Natur betrieben wird und die Menschen irgendwo weit weg in den Entwicklungsländern unter den Konsequenzen dieser Umwelteingriffe zu leiden haben (Pawlik, 1991). Wo die unmittelbare Erfahrung fehlt, wird sie durch die *mittelbare* ersetzt; vermittelt durch soziale Kommunikation in der Familie, mit Gleichgesinnten, mit Kollegen, vor allem aber vermittelt durch die (Massen-) Medien.

Die fehlende Anschaulichkeit und Erlebbarkeit vieler Umweltprobleme, die großen zeitlichen und räumlichen Distanzen zwischen Verursachung und Manifestation globaler Veränderungen, aber auch die Unsicherheit bezüglich der globalen Effekte und ihrer Signale, werfen viele Fragen auf: Wie werden Umweltzustände und -veränderungen überhaupt wahrgenommen, repräsentiert,

beurteilt und bewertet ? Welche Konsequenzen ergeben sich daraus für den Umgang mit solchen Umweltzuständen (Entscheidungen, alltägliches Handeln, emotionale Reaktionen) ? Wie unterscheiden sich Wahrnehmungen und Urteile von Laien und Experten ? Welche Rolle spielt die Berichterstattung in den Medien und der dort ausgetragene Streit der Experten ?

Für eine Reihe dieser Fragen geben uns die kognitiven Wissenschaften, die Umweltpsychologie und -soziologie, aber auch die Naturkatastrophen-Forschung der Geographie erste Antworten. Die spezifischen Probleme der globalen Umweltveränderungen sind jedoch erst vereinzelt aufgegriffen worden.

Welche Merkmale von Umweltproblemen sind feststellbar, die Menschen aufmerken lassen und möglicherweise für Verhaltensänderungen ausschlaggebend sind: Sind es die räumlich nahen, konkret erfahrbaren (die spürbare Luftverschmutzung, die wahrnehmbare Trinkwasserverseuchung) oder die eher abstrakten und entfernten Probleme einer globalen Erwärmung ? Welche Bedeutung hat der Zusammenhang dieser Probleme mit den Urelementen Feuer, Wasser, Boden und Luft ? Müssen erst die eigene Gesundheit oder der eigene Lebensstandard bedroht sein oder reagieren Menschen auch auf die bedrohte Existenz von Tier- und Pflanzenarten ? Und wie reagieren Menschen auf diese verschiedenen Charakteristika von Umweltproblemen? Erste Auswertungen einer umfangreichen Fragebogenuntersuchung an Schülern zwischen 14-19 Jahren (Lehmann und Gerds, 1991) ergeben z.B., daß das Ozonloch und die Klimaveränderung übereinstimmend als dringlichste Umweltprobleme bezeichnet werden, aber *kaum Relevanz für das eigene Handeln* haben. Geographisch nahe Umweltprobleme haben weniger Reaktionen zur Folge als ferner liegende. Dazu paßt auch ein in anderen Studien häufig berichteter Befund, daß die Umweltprobleme in der eigenen Nachbarschaft im Vergleich zu anderen Gebieten als weniger gravierend eingestuft werden. Lehmann und Gerds finden aber auch, daß selbst das Gefühl der Bedrohung des eigenen Lebensstandards oder auch der Gesundheitsgefährdung nicht notwendigerweise Handlungskonsequenzen hat, und daß wahrgenommene Umweltprobleme allenfalls zu vermehrter Kommunikation (Gesprächen) mit anderen, aber nicht auch zu einem veränderten Konsumverhalten führen.

Dreiviertel aller Amerikaner haben vom Treibhauseffekt gehört; ihre Auffassung der Ursachen und Konsequenzen weicht von der der Wissenschaftler jedoch erheblich ab. Die Korrelationen zwischen objektiv meßbaren Umweltzuständen und der vom Menschen wahrgenommenen Realität sind meist gering (Kempton 1991). Nicht Klimaveränderungen werden wahrgenommen, sondern allenfalls das Wetter und seine Auffälligkeiten. Der außergewöhnlich heiße Sommer des Jahres 1992, die "zu milden Winter" der vergangenen Jahre - sie werden anhand von Standards beurteilt, die entweder der eigenen tatsächlichen oder vermeintlichen Erfahrung oder einem durch Medien vermittelten Wissen

(Halbwissen) entnommen werden. Bei der eigenen Erfahrung ist aus psychologischer Sicht mit Erinnerungstäuschungen zu rechnen, die das Urteil verzerren können.

Um Auffälliges oder Unverständliches verständlich zu machen, wird versucht, es auf Ursachen zurückzuführen. Dabei besteht die Neigung zu *monokausalen* Erklärungen. Wurden Wetterveränderungen in den 60er Jahren häufig auf die Atomtests zurückgeführt, wird heute der Treibhauseffekt als Erklärung bemüht. Eine solche Strategie kognitiver Ökonomie wird komplexen Sachverhalten nicht gerecht, die sich, wie etwa das Klimasystem, durch Vernetztheit, Intransparenz und Eigendynamik auszeichnen. Untersuchungen zum *vernetzten Denken* (Dörner, 1989) haben die Schwierigkeiten, aber auch gewisse Möglichkeiten der Trainierbarkeit des Umgangs mit komplexen Systemen gezeigt.

Neben der Tendenz zu monokausalen Erklärungen sind als weitere kognitive Strategien, die Individuen bei der Beurteilung komplexer und ungewisser Ereignisse benutzen, *Urteilsheuristiken* zu berücksichtigen (Kahneman et al., 1982). Diese werden häufig als "Fehler" der Informationsverarbeitung gesehen, sind aber eher als "Faustregeln" zu verstehen, "die komplexes Problemlösen auf einfachere Urteilsoperationen reduzieren" und meist "automatisch und unreflektiert" verwendet werden (Stroebe et al., 1990).

(1) Bei Anwendung der *"Repräsentativitätsheuristik"* wird Merkmalen, die für eine Klasse von Ereignissen typisch zu sein scheinen, übermäßiges Gewicht beigemessen, ohne die *a priori* Wahrscheinlichkeit für ein Ereignis oder die Größe der Stichprobe, aus der ein bestimmtes Ereignis stammt, zu beachten. So werden langsame Veränderungen möglicherweise übersehen und Zufallsereignisse wie der heiße Sommer 1992 überbewertet und als Indiz für den Treibhauseffekt eingestuft.

(2) Als *"Verfügbarkeitsheuristik"* wird die Tendenz bezeichnet, neue oder besonders dramatische Ereignisse, die viel Aufmerksamkeit erregt haben und ausführlich in den Medien behandelt wurden, in ihrer Häufigkeit zu überschätzen. Verfügbar und sinnfällig sind Ereignisse, die vertraut sind und besonders bildhaft und lebendig dargestellt werden. So kann der Befund aus der Energiesparforschung, daß Investitionen in energieeffiziente Geräte eher aufgrund von Empfehlungen durch Bekannte als durch sachgerechte Informationen durch die Medien gefördert werden, durch die bessere Verfügbarkeit persönlicher Information erklärt werden.

(3) Auch die Form der *Präsentation eines Problems* (*framing*) beeinflußt die Urteilsbildung. Ein und dieselbe Option, z.B. eine Investition, kann als Vermeidung finanzieller Verluste formuliert eher akzeptiert werden, als wenn sie bei gleichem objektiven Wert Gewinn verspricht.

Risikowahrnehmung und -akzeptanz

Besondere Bedeutung gewinnen diese Befunde zu kognitiven Strategien und fehlerbehafteten Urteilsprozessen, wenn es um die Wahrnehmung, Kommunikation und Akzeptanz von Risiken geht. Die globale Erwärmung, die zunehmende Ausdünnung der Ozonschicht - dies sind Risiken, die schon von Wissenschaftlern, mehr aber noch von Politikern, Angehörigen bestimmter Parteien oder Interessengruppen und nicht zuletzt von Laien unterschiedlich bewertet werden, mit den entsprechend unterschiedlichen Folgen für präventives oder adaptives Handeln.

Zur Wahrnehmung und Akzeptanz von Risiken durch den Menschen existiert eine mittlerweile beachtliche Anzahl an Untersuchungen und empirisch gestützten Konzeptualisierungen. Diese beziehen sich allerdings zumeist auf Risiken aus technischen Entwicklungen (Kernenergie, neue Chemikalien usw.). Schleichende Prozesse, wie sie globale Umweltveränderungen vor allem darstellen, tauchten hingegen als Gegenstand der Risikowahrnehmungsforschung bislang noch kaum auf (Fischhoff und Furby, 1983; Jungermann et al. 1991).

Die vorliegenden Forschungsergebnisse lassen sich folgendermaßen umreißen (Slovic, 1987): Menschen akzeptieren eher Risiken, die sie selbst freiwillig eingegangen sind, als solche, die sie als von außen aufgebürdet wahrnehmen (z.B. Autofahren vs. Kernenergie). Dabei kommt es häufig zu einer Überschätzung der eigenen Fähigkeiten bzw. Kapazitäten (*self-serving bias*). Risiken, die als unbekannt oder unkontrollierbar eingeschätzt werden, werden als bedrohlich wahrgenommen, wohingegen Risiken, die als kontrollierbar eingeschätzt werden und/oder deren Auswirkungen und Folgen bekannt sind, einen wesentlich geringeren Bedrohlichkeitscharakter aufweisen. Schwierigkeiten bereitet offenbar das Abschätzen der Eintrittswahrscheinlichkeiten von Gefährdungen bzw. Schäden, wobei es zu charakteristischen "Fehlern" kommt: Selten auftretende und latente Bedrohungen werden überschätzt, während häufige bzw. permanente, tatsächliche Bedrohungen unterschätzt werden.

Durchgängig sind Unterschiede in der Beurteilung von Risiken durch "Experten" und "Laien" gefunden worden: "Laien" gehen - sozusagen intuitiv - von einem wesentlich breiteren Risikobegriff aus, während "Experten" ihren Risikoanalysen ausschließlich "objektives" Zahlenmaterial über potentielle unmittelbare Folgen (z.B. Mortalitätsraten) zugrundelegen. Zwar wird der breitere Risikobegriff der Laien häufig als "irrational" bezeichnet; dennoch muß er ernst genommen werden, zumal auch die von "Experten" angelegten Kriterien nicht selten bereits durch politische Vorgaben oder wirtschaftliche Erwägungen "kontaminiert" sind (Fischhoff, 1990).

Globale Umweltveränderungen nehmen in bezug auf die Freiwilligkeit des eingegangenen Risikos eine ambivalente Rolle ein, da zu den Verursachern sowohl der Einzelne in seinem konkreten Umweltverhalten als auch von ihm nur bedingt kontrollierbare Instanzen (z.B. die Industrie) zählen. Angesichts der schleichenden, oft unmerklichen Entwicklung der Folgen globaler Umweltveränderungen wäre mit einer Überschätzung der eigenen Fähigkeiten oder Kapazitäten zu rechnen im Sinne der Annahme, persönlich nicht betroffen zu sein. Der geringe Grad der Bekanntheit und Kontrollierbarkeit globaler Umweltveränderungen würde hingegen eher für eine hohe Bedrohlichkeit sprechen. Da es sich bei den erwarteten globalen Umweltveränderungen nicht in erster Linie um umschriebene Unfälle oder Katastrophen handelt (mit entsprechend kurzfristiger, intensiver Medienberichterstattung, wie z.B. in den Bereichen Kernenergie oder Chemie), sondern um schleichende Prozesse, erweisen sich Kalküle auf der Grundlage von Eintrittswahrscheinlichkeiten für eine Abschätzung der Bedrohlichkeit als wenig geeignet.

Die Wahrnehmung und Bewertung der zu erwartenden Umweltveränderungen muß als eine wichtige Voraussetzung für alles nachfolgende Handeln im Sinne einer Bewältigung angesehen werden. Angesichts der neuen Qualität globaler Bedrohungen gegenüber den bereits erforschten Risiken wird eine global angelegte entsprechende Risikowahrnehmungs-Forschung unumgänglich, zumal auch in der sozialen Konstruktion von Risiken kulturspezifische Unterschiede anzunehmen sind (z.B. Bayerische Rück, 1993).

Zur Rolle der Medien

Globale Umweltveränderungen sind nicht unmittelbar wahrnehmbar. Ganz entscheidend sind daher Informationen, die zum Verständnis und zum Aufbau von Wissen über globale Probleme, ihre Ursachen und ihre Konsequenzen beitragen. Derartige Informationen sucht man normalerweise in der direkten Kommunikation. Das gilt vor allem in Situationen allgemeiner Ungewißheit, in denen es aber häufig zur Gerüchtebildung kommt. Für das Wissen aus zweiter Hand spielen die Medien eine wichtige Rolle. Ihnen kommt für die gesellschaftliche Konstruktion von globalen Umweltveränderungen und ihrer Risikohaftigkeit besondere Bedeutung zu. Medien sind wichtige Filter im Prozeß der Informationsverarbeitung naturwissenschaftlicher Meßergebnisse.Dies gilt von der Veröffentlichung bis zu dem, was schließlich als öffentliche Meinung seine Wirkung entfalten kann (als individuelle Kognition von Umweltproblemen, als direkter oder über das Wähler- bzw. Verbraucherverhalten vermittelter Einfluß auf politische und wirtschaftliche Entscheidungsträger, als Engagement bei Umweltinitiativen oder Konsumboykott usw.). Die Untersuchung medienvermittelter Information über globale Umweltprobleme und ihrer Wirkung auf das Publikum hat auch in den Entwürfen zu "*Human Dimensions*"-Forschungsprogrammen eine hohe Priorität. Manche Erkenntnisse lassen sich dabei einerseits aus der Risikoforschung (Dunwoody und

Peters, 1993), andererseits auch aus der Forschungstradition zu Einstellungsänderungen, z.B. im Energiebereich, gewinnen.

Die Rolle der Medien ist vielfältig:

(1) Sie haben die Aufgabe, unanschauliche und "abstrakte" Sachverhalte und Prozesse wie globale Umweltveränderungen, mit denen (noch) die eigene Erfahrung fehlt, anschaulich und verständlich zu machen. Ein wichtiger Faktor dabei ist die *Visualisierung*. Jeder von uns konnte im Fernsehen die wandernde Tschernobylwolke oder das wachsende Ozonloch "sehen". Computeranimationen sind ein wesentliches didaktisches Mittel, um z.B. exponentielles Wachstum oder globale Veränderungen über lange Zeiträume hinweg zu veranschaulichen, d.h. sie überhaupt ins Bewußtsein zu heben und die öffentliche Aufmerksamkeit dafür zu gewinnen oder wachzuhalten. Zu klären bleibt aber, unter welchen Bedingungen und für welche Empfänger solche Darstellungen adäquat sind oder aber zur Verharmlosung bzw. sensationellen Dramatisierung von Umweltproblemen beitragen können.

(2) Die *Art der Darstellung* hat eine Reihe teilweise bekannter Effekte auf die Empfänger. Dies trifft zu für das quantitative Verhältnis, aber auch für die Positionierung von pro- und contra-Argumenten bei strittigen Sachlagen. Schon erwähnt wurde die Bedeutung des "framing": die Darstellung von Gewinnen oder Verlusten, von Überlebenschancen und Todesfallrisiken wird - bei gleichem objektiven Gehalt - unterschiedlich verarbeitet. Wesentlich ist auch - und dies ist für die Berichterstattung über technische Risiken, vor allem im Zusammenhang mit dem Tschernobyl-Unfall intensiv untersucht worden, die sprachliche Darstellung, die Wahl von Begriffen einschließlich der damit verbundenen semantischen Assoziationen. Die von amtlichen Stellen und Verbänden bewußt eingesetzte Sprachpolitik in Presseverlautbarungen, Inseraten und Fernsehfeatures ist ein Mittel, um Risiken hoch- oder herunterzuspielen.

Der mehr oder minder bewußte Einsatz von angsterzeugenden oder verharmlosenden Ausdrucksmitteln, das Schüren oder Abwiegeln von Emotionen und Affekten ist von erheblicher Bedeutung für die Informationsverarbeitung, vor allem aber auch für die daraus folgenden Handlungskonsequenzen. Emotionale Betroffenheit ist, wie verschiedene Studien zeigen, eine notwendige Voraussetzung für die Umsetzung von pro-ökologischen Werthaltungen und Einstellungen in konkretes Handeln (Lantermann et al., 1992). Zu intensive Gefühle, z.B. Angst, können jedoch auch gegenteilige Wirkungen haben (Bumerang-Effekt): Man steckt den Kopf in den Sand oder mißachtet die Risikoinformation (z.B. über die Gefahren des Rauchens), verhält sich einstellungskonträr oder verfällt in Resignation. Verstärkt findet man derartige Reaktionen dort,

wo die Komplexität des Problems adäquate Reaktionen nicht erkennen läßt bzw.dort, wo Handlungsmöglichkeiten fehlen. Der subjektiv erlebte *Kontrollverlust*, sowohl als Folge bestimmter Umweltwahrnehmungen oder -informationen wie auch als Ursache für die verschiedensten Reaktionen wie der Verleugnung von Umweltproblemen oder der Tendenz, seine eigene Umwelt als "sicher" wahrzunehmen, bis hin zur Entwicklung von Umweltkrankheiten, ist ein ernstzunehmendes Phänomen.

(3) Für die globale Umweltproblematik besonders relevant ist der in den Medien ausgetragene *Streit der Experten*, der - wie Beck (1986) es pointierend formuliert hat - beim Publikum zur "Nichterfahrung aus zweiter Hand" führt. Die Öffentlichkeit wird immer wieder mit einander widersprechenden Informationen konfrontiert. Dadurch kann es zur "kognitiven Dissonanz" (Festinger, 1978) kommen, die für den Einzelnen schwer erträgliche Unvereinbarkeit konkurrierender Standpunkte. Wenngleich der Trend zur "Expertokratie" und zur Verwissenschaftlichung des Alltags nicht zu übersehen und nicht zu bremsen ist, kann der öffentlich ausgetragene Meinungsstreit zu einem Glaubwürdigkeitsverlust von Experten und derjenigen führen (z.B. Politiker), die sich auf Experten berufen. Da die Glaubwürdigkeit (sowie Kompetenz und Reputation) des Kommunikators eine wichtige Rolle für die Rezeption und Wirkung von Informationen spielt (das gilt für den BUND ebenso wie für den WBGU), ist diesem Faktor verstärkte Aufmerksamkeit zu schenken.

Werthaltungen/Einstellungen ("Umweltbewußtsein")

Umfrageergebnissen zufolge hat das "Umweltbewußtsein" der Bevölkerung in den letzten Jahren deutlich zugenommen. Dieser allgemeine Trend zeigt sich zumindest in den Staaten der Europäischen Gemeinschaft (Wasmer, 1990; Schuster, 1992; Hofrichter und Reif, 1990) und in den USA (Milavsky, 1992), wobei im einzelnen allerdings von erheblichen Unterschieden zwischen Kulturkreisen, Nationen und Regionen ausgegangen werden muß.

Auf EG-Ebene bezeichneten 1992 85 % der Befragten Umweltschutz als "unmittelbares und drängendes Problem" (das sind 11 % mehr als noch 1988), wobei sich dieser Zuwachs an Bedeutsamkeit in nahezu allen Mitgliedsländern vollzog, allerdings in unterschiedlichem Ausmaß. 69 % hielten wirtschaftliches Wachstum und Umweltschutz in direkter Gegenüberstellung für gleich wichtig, während nur 4 % dem wirtschaftlichen Wachstum Vorrang gaben. Bezogen auf globale Umweltveränderungen zeigten sich 92 % der Interviewten besorgt über das Verschwinden von Pflanzen- und Tierarten und Biotopen, über die Zerstörung der Ozonschicht und das Verschwinden der tropischen Regenwälder (Commission of the European Communities, 1992). Dies bestätigt die generelle Tendenz, "allgemeine" Umweltveränderungen als gravierender zu beurteilen als persönliche Bedrohungen vor Ort.

Die Bundesrepublik zählt im europäischen Vergleich zu den Nationen mit stark ausgeprägtem Umweltbewußtsein (Hofrichter und Reif, 1990; Commission of the European Communities, 1992). Auch dabei ist jedoch von regionalen Unterschieden auszugehen, insbesondere beim Vergleich der Bevölkerung in den neuen Ländern mit derjenigen in der alten Bundesrepublik. So ist etwa in den Jahren 1990/91 für die neuen Bundesländer ein deutlicher Rückgang der Besorgnis in bezug auf Umweltprobleme zu konstatieren, während sich gleichzeitig Themen wie die eigene wirtschaftliche Situation sowie die gesamtwirtschaftliche Lage als Sorgen verursachende Problemfelder in den Vordergrund drängten (Schuster, 1992). Sollten die sich z.Zt. für die gesamte Bundesrepublik abzeichnenden wirtschaftlichen Probleme über einen längeren Zeitraum anhalten, ist auch für die alten Länder eine ähnliche Entwicklung nicht auszuschließen.

Befragt nach den am meisten gefürchteten Umweltveränderungen, sind die Bundesbürger vor allem über die Klimaprobleme besorgt: Bei den Westdeutschen stehen das Ozonloch (37 %) und die Luftverschmutzung (36 %) im Vordergrund, gefolgt von Müllproblemen (20 %) und Klimaveränderungen (18 %). Die Ostdeutschen fürchten am meisten Müllprobleme (41 %) und Luftverschmutzung (37 %), aber auch für sie spielen Ozonloch (34 %) und Klimaveränderungen (25 %) auf den Plätzen drei bzw. sechs eine wichtige Rolle (Institut für Praxisorientierte Sozialforschung, 1992).

Betrachtet man die längerfristigen Trends in der Umfrageforschung der vergangenen Jahre, so zeigt sich ein deutlicher Anstieg des Umweltbewußtseins in den Jahren 1986/87, der nach übereinstimmender Interpretation auf den damaligen Reaktorunfall in Tschernobyl zurückgeführt wird. Ob diese Veränderung des Umweltbewußtseins, das sich seither auf hohem Niveau stabilisiert hat, auch eine Folge der *Häufung* von Umweltkatastrophen im Jahr 1986 darstellt (Sandoz-Katastrophe, zahlreiche Chemieunfälle), bleibt allerdings offen. Schuster (1992) jedenfalls sieht in dem "Tschernobyl-Effekt" eine Bestätigung der Ergebnisse aus der Risikoforschung: Ein seltener, spektakulärer Unfall mit einer großen Zahl von Betroffenen führt offenkundig zu der Einschätzung, daß das Gefahrenpotential hoch ist.

Häufig werden Ergebnisse aus der umweltbezogenen Einstellungsforschung mit dem werttheoretischen Konzept des Materialismus / Postmaterialismus in Zusammenhang gebracht (Inglehart, 1977, 1989 und 1991), demzufolge die zu beobachtenden Veränderungen im Umweltbewußtsein nur *Symptome* für den wesentlich breiteren Prozeß eines allgemeinen Wandels von einer materialistischen Wertorientierung (Betonung von ökonomischer und physischer Sicherheit) hin zu einer postmaterialistischen Wertorientierung (Betonung von Selbstverwirklichung und Lebensqualität) darstellen. Als Ursache für diesen "kulturellen Wandel" sieht Inglehart kohortenspezifische Sozialisationseffekte

an: So trage etwa das nie gekannte Ausmaß an ökonomischer Sicherheit, das die Nachkriegsgenerationen in den westlichen Industrienationen vorfinden, zum Aufkommen postmaterialistischer Wertvorstellungen entscheidend bei.

Immer wieder wird über korrelative Zusammenhänge zwischen Umweltbewußtsein und dem - nicht unumstrittenen - Inglehart'schen Konzept berichtet. Wasmer (1990) etwa konstatiert eine deutliche Beziehung zwischen Postmaterialismus und der Wahrnehmung von Umweltbelastungen. Am stärksten zeigt sich dieser Zusammenhang danach bei Belastungsarten mit relativ geringer Sichtbarkeit - einem dominierenden Merkmal auch von globalen Umweltveränderungen. Daneben können aber auch noch für weitere Faktoren Zusammenhänge mit dem Umweltbewußtsein postuliert werden, etwa für den Faktor Schulbildung. Das Bildungsniveau scheint immer dann einen gesteigerten Einfluß zu haben, wenn eine direkte Wahrnehmbarkeit von Belastungen nicht gegeben ist.

Eine abschließende Bewertung möglicher Zusammenhänge zwischen allgemeinem Wertewandel und Umweltbewußtsein scheint vor dem Hintergrund fehlender Längsschnittdaten (insbesondere aus den Entwicklungsländern) noch verfrüht. Ein großangelegtes *Monitoring*-Projekt unter jährlicher Einbeziehung von 40 Ländern aus allen Kontinenten und damit von 70 % der Weltbevölkerung (auf der Grundlage des World Values Survey von 1990) könnte langfristig jedoch helfen, die entsprechenden Datenlücken zu schließen (Inglehart, 1991).

So instruktiv und öffentlichkeitswirksam die Ergebnisse der bisherigen Umfrageforschung (von denen hier nur ein kleiner Ausschnitt präsentiert wurde) auch sein mögen, so sind sie doch aus einer methodischen Perspektive mit Vorsicht zu betrachten: Meist beruhen die veröffentlichten Zahlen auf Antworten zu jeweils nur einer Frage, und zwar in sehr unterschiedlichen Kontexten. Auch Einflüsse der Frageformulierung und -positionierung, der mehr oder weniger starken Suggestivwirkung von Instruktionen, Wortwahl, vorgegebenen Alternativen und Interviewerverhalten sind als mögliche Fehlerquellen zu beachten.

Zudem ist bei der Interpretation von derartigen, hochaggregierten Daten Vorsicht geboten: Erstens lassen sie die beträchtliche Variabilität individueller Wahrnehmungs- und Einstellungsmuster und damit auch Wertkonflikte innerhalb der Bevölkerung meist nicht erkennen. Zweitens ist die Beziehung zwischen der öffentlichen Meinung (d.h. generellen Werten), individuellen Werthaltungen und schließlich umweltrelevanten Verhaltensweisen viel weniger eng als gemeinhin angenommen wird. Entsprechende Korrelationen zwischen generellen Werthaltungen und selbstberichtetem Verhalten liegen meist nicht höher als zwischen 0,1 und 0,2, die Beziehung zum tatsächlich beobachteten Verhalten ist noch weniger eng. Eine methodisch weniger angreifbare

Einstellungsforschung zu Umweltfragen, die von theoretisch, aber auch empirisch fundierten Konstrukten ausgehen kann und daneben der Globalität der Umweltveränderungen sowohl inhaltlich als auch methodisch Rechnung trägt, steht noch aus.

Motivation und Handlungsanreize

Werthaltungen und Einstellungen, aber auch das Wissen um Umweltprobleme werden nur dann handlungsrelevant, wenn Individuen entsprechend motiviert sind, etwas zu tun oder zu unterlassen. Umweltorientiertes Verhalten dient zunächst einmal der Befriedigung von Bedürfnissen (besser: dem Bedarf) nach Nahrung, Obdach, aber auch nach Sicherheit (oft als Grundbedürfnisse von Bedürfnisen "höherer Ordnung", wie z.B. nach Anerkennung und Selbstverwirklichung unterschieden). Um jedoch die für umweltgerechtes Handeln entscheidenden motivationalen Voraussetzungen zu erkennen und gegebenenfalls zu beeinflussen, ist es notwendig, diejenigen Motive zu kennen, von denen wir wissen, daß sie bisher wesentlich (als "Nebeneffekt") zu umweltschädigendem Verhalten beigetragen haben. Das sind, kurz gefaßt, das Streben nach individueller Bequemlichkeit, unmittelbarem Genuß, Vermeidung von Unlust - ganz allgemein egozentrische Motive: Solche Motive und ihnen entsprechende Handlungsmuster sind per se nicht "falsch" oder unmoralisch, werden aber dann zum Problem, wenn sie auf eine Ressource ausgerichtet sind, an der alle Menschen partizipieren müssen oder sollen.

Hier ist ein Paradigma relevant, daß sowohl in der ökonomischen wie in der sozio-psychologischen Forschung vielfach aufgegriffen wird, wenn es um die Nutzung begrenzter (erneuerbarer oder nichterneuerbarer) Ressourcen (z.B. Fischbestände, intakte Landschaft) oder auch um die Verschmutzung und Schädigung von Umwelt (z.B. durch Abfälle oder Schadstoffe) geht. Es handelt sich dabei um das Paradigma des "*commons dilemma*" (Hardin, 1969), in der Literatur auch als "Allmende-Klemme", "ökologisch-soziales Dilemma" (Spada und Ernst, 1992), "soziale Falle" (Platt, 1973) oder als "Trittbrettfahrer"-Problem (Olson, 1968) beschrieben. Das Dilemma besteht darin, daß individuelle (kurzfristige) Interessen (Hedonismus, Bequemlichkeit), die zu einer übermäßigen Ressourcennutzung führen, über die Zeit hinweg mit Interessen der Gemeinschaft oder auch den künftigen Interessen des Individuums kollidieren. Das, was für den einzelnen zunächst erstrebenswert, genußvoll erscheint (z.B. uneingeschränkter Konsum, individuelle PKW-Nutzung, verstärkter Einsatz von Düngemitteln) wird der Gemeinschaft, deren Teil das Individuum ist, über kurz oder lang zum Schaden gereichen bzw. erst künftige Generationen treffen. Das heißt, wenige haben den Gewinn, die Mehrheit das Nachsehen.

Obwohl von klein auf zum Belohnungsaufschub erzogen, scheinen viele Menschen gerade beim umweltbezogenen Verhalten nicht zu einem Verzicht bereit zu sein. Maximen wie "genieße jetzt, zahle später" und "nach uns die

Sintflut" scheinen das Handeln vielfach eher zu leiten als der Gedanke an Umweltkatastrophen oder an künftige Generationen. Hinzu kommt, daß die Konsumenten für kurzfristige individuelle Gewinne (an Genuß und Bequemlichkeit) oft bereit sind, viel Geld auszugeben und soziale und ökologische Kosten in Kauf, aber nicht zur Kenntnis zu nehmen. Die Beziehung zwischen Kostensteigerung und abnehmendem Verbrauch ist in der Regel nicht so einfach, wie es manche ökonomischen Modelle vermuten lassen.

Zu den individuellen Motiven und Werthaltungen kommen *soziale Werte* (gesellschaftliche Normen, Normen der Bezugsgruppe) hinzu. Umweltbelastendes Verhalten (schnelles Fahren, aufwendiges Verpacken) hat in der Regel einen hohen Prestigewert und wird von der sozialen Gruppe oder auch der Gesellschaft insgesamt "belohnt", umweltschonendes Verhalten dagegen wird kaum erkannt und anerkannt (d.h. sozial verstärkt), sondern eher negativ bewertet.

Solche "sozialen Fallen" zu durchbrechen und ein individuelles Verhalten zu fördern, das dem Allgemeinwohl dient, ist eine wichtige Voraussetzung auch für die Entwicklung und Stabilisierung umweltgerechten Handelns. Die Forschung hat verschiedene Bedingungen spezifiziert, die dem egozentrischen Ausbeutungsverhalten entgegenwirken und altruistisches Verhalten fördern. Dies sind vor allem das Wissen um ökologische Systemzusammenhänge und um die ökologischen Konsequenzen des eigenen Handelns, aber auch das Vertrauen auf das Wissen und die Handlungsbereitschaft der anderen, an der Erhaltung einer Ressource mitzuwirken (Spada und Ernst, 1992). Außerdem ist eine Reihe weiterer lern- und motivationspsychologischer Prinzipien zu berücksichtigen.

Nur bei wenigen Menschen wird man finden, daß ihr ausgeprägtes Umweltbewußtsein ausreicht und sie aus eigenem Antrieb, d.h. *intrinsisch motiviert*, ein als schädlich erkanntes, aber subjektiv befriedigendes Verhalten aufgeben und durch ein anderes ersetzen. Dies gelingt umso weniger, je stärker ein solches Verhalten automatisiert und mit einer langen Sozialisationsgeschichte verbunden ist.

In der Regel müssen stärkere *Verhaltensanreize* eingesetzt werden, um ein zunächst unbequemeres, zeitaufwendigeres, kognitiv anspruchsvolleres Verhalten zu übernehmen. Dies geschieht durch den Einsatz von "Verstärkern" als Verhaltenskonsequenzen, die die Wahrscheinlichkeit von umweltschonendem Verhalten erhöhen, von umweltschädigendem Verhalten verringern sollen, z.B. durch Verteuerung von Einwegflaschen und Parkraum oder durch Verbilligung der Preise für den öffentlichen Nahverkehr.

"Belohnungen" müssen nicht immer finanzieller Natur sein, wenngleich materielle Gewinne in unserer Gesellschaft der mächtigste Verhaltensanreiz zu sein

scheinen. Motivierend kann auch die *soziale Anerkennung* durch relevante Bezugsgruppen (Nachbarn, Freunde) wirken.

Als eine Art kognitive Verstärkung wird im übrigen jede Rückmeldung (*feedback*) empfunden, die über die positiven Folgen angemessenen bzw. die negativen Konsequenzen unangemessenen Verhaltens informiert. Rückmeldungen hinsichtlich eines Maßstabs (z.B. Energieeinsparung im Vergleich zum Vorjahr oder zum Gemeindedurchschnitt) können dazu motivieren, ein angestrebtes, möglichst selbst gesetztes, durch öffentliche Selbstverpflichtung vielleicht noch bekräftigtes Ziel zu erreichen. Ein Problem solcher Verstärkungsstrategien ist es allerdings, daß die Verhaltensänderungen oft nur solange aufrechterhalten werden, als sie auch belohnt werden, also externe Verstärkung erfahren. Für eine Stabilisierung des Verhaltens ist es letztlich notwendig, über diesen Weg der extrinsischen Motivierung und der Aufklärung über ökologische Zusammenhänge eine intrinsische Motivation aufzubauen.

Handlungsgelegenheiten, -möglichkeiten und -kontext

Für umweltschonendes Verhalten fehlen häufig die *Verhaltensmöglichkeiten*, und zwar einmal im Sinne fehlender Kompetenz und Fertigkeit: Manche wissen eben nicht, was sie tun sollen, andere können ein bestimmtes Verhalten (wie Radfahren) nicht ausüben, weil sie es nicht gelernt haben bzw. nicht mehr lernen können. Zum anderen fehlt es oft an Handlungsgelegenheiten, z.B. an verpackungsarmen Produkten, energieeffizienten Haushaltsgeräten, wassersparenden Einrichtungen oder auch an öffentlichen Nahverkehrsmitteln, die ein Umsteigen vom privaten PKW überhaupt erst ermöglichen. Wie unsinnig ist z.B. der Aufruf, durch Abfallvermeidung den eigenen Geldbeutel zu schonen, wenn es keine Möglichkeit zur individuellen Einsparung von Müllgebühren gibt.

Zum Handlungs*kontext* gehört auch das *soziale Umfeld*, in dem ein neues Verhalten gelernt oder wirksam werden soll. Gute Nachbarschaftskontakte (soziale Netze) bieten die Möglichkeit zu sozialem Vergleich und sozialer Kontrolle (Hormuth und Katzenstein, 1992), vor allem aber auch die Chance zur Entwicklung von kooperativen Beziehungen und solidarischen Verhaltensweisen (Diekmann und Preisendörfer, 1992; Neuman, 1986).

Bei der Planung von Handlungsgelegenheiten und Handlungsanreizen ist abzuwägen, ob es sinnvoll ist, die Änderung alltäglicher Verhaltensweisen (z.B. Reduzierung der PKW-Nutzung) anzustreben, um z.B. die CO_2-Produktion zu vermindern, oder eher einmaliges Investitionsverhalten (z.B. den Kauf eines Energiesparautos) zu fördern. Einige Sozialwissenschaftler (Stern und Gardner, 1981) argumentieren, daß die Umweltrelevanz und das (Energie-) Sparpotential alltäglicher Verhaltensweisen gegenüber der Bedeutung von einmaligen größeren Haushaltsinvestitionen oft überschätzt wird. Für eine ganze Reihe von Umweltproblemen ist jedoch die Veränderung von Konsum-

gewohnheiten und Alltagshandeln unverzichtbar (z.B. Abfallvermeidung). Täglicher Konsumverzicht verlangt die Änderung von Gewohnheiten und muß gegebenenfalls durch (unregelmäßige) Verstärkung aufrechterhalten werden. Investitionen in energieeffiziente Technik erfordern nur einmalige Entscheidungen. Relativ gut bestätigt ist der Befund, daß die einmalige Entscheidung für vergleichsweise kostspielige Investitionen vor allem durch ökonomische Gesichtspunkte beeinflußt wird, während für relativ leicht auszuführendes Verhalten (z.B. Einkaufen oder Abfallsortieren) eher umweltbezogene Werthaltungen und Normen maßgebend sind (Diekmann und Preisendörfer, 1992).

Strategien der Verhaltensänderung

Wurde bisher versucht, Determinanten umweltrelevanten Verhaltens als Ursache, aber auch als Folge von globalen Umweltveränderungen vorwiegend konzeptuell und kategorial zu behandeln, sollen abschließend noch Hinweise auf einige wichtige Strategien und Interventionsansätze zur Verhaltensänderung gegeben werden, die in Reaktion auf die erste Energiekrise Anfang der 70er Jahre (vor allem in den USA) entwickelt wurden. Damals wurde das Öl knapp, die Energiepreise stiegen, was großen Einfluß auf Verhaltensänderungen hatte (Investitionen in energiesparende Autos, Wärmeisolierung an Gebäuden, Umsteigen auf andere Energiequellen, z.B. von Gas auf Kohle). Trotzdem stellte sich heraus, daß die Kräfte des Marktes allein nicht ausreichten, um die energierelevanten Verhaltensweisen der Bevölkerung in ausreichendem Maße zu ändern.

Die "neue" globale Umweltkrise ist von anderer Art. Auch jetzt richtet sich das Augenmerk wieder auf den Energieverbrauch, aber nicht weil Energie knapp und teuer ist, sondern weil die Emissionen durch den Verbrauch fossiler Brennstoffe eine der wesentlichen Ursachen für den Treibhauseffekt sind. Was damals "Nebenwirkung" des Energieverbrauchs war, steht jetzt als eine Hauptursache anthropogener Klimaänderung im Mittelpunkt: die CO_2-Emissionen durch die Nutzung fossiler Brennstoffe. Energie ist genügend vorhanden, die Preise sind niedrig, so daß zunächst einmal wichtige externe Anreize für Verhaltensänderungen fehlen (Kempton et al., 1992).

Zur Veränderung umweltschädlicher, vor allem energieintensiver Verhaltensweisen ist eine Reihe von Programmen entwickelt, und vor allem in den USA eingesetzt und auch evaluiert worden. Dabei finden nicht nur die genannten Determinanten Berücksichtigung, sondern auch eine große Zahl weiterer Faktoren, die man als wesentliche Bedingungen oder Moderatoren von Verhaltensänderungen kennt - denn das System Mensch ist nicht minder komplex als das System Natur. Dazu gehören *individuelle* Faktoren (z.B. kognitive Fähigkeiten oder demographische Variablen wie Alter, Geschlecht, sozioökonomischer Status), *interpersonale* Faktoren (soziale Normen, soziale Kontakte) und *Kontextfaktoren* (Wohnort, Haushaltsgröße, Eigentumsrechte an technischen Geräten, usw.).

Die wichtigsten Typen von Interventionsstrategien sind (vgl. dazu Kempton et al., 1992; Stern, 1992b):

(1) *Information, Aufklärung, Feedback*
Information und Aufklärung finden durch die Massenmedien, aber auch durch Broschüren, Werbung, Schulbücher und andere Bildungsmaterialien statt. Es konnte vielfach bestätigt werden (Dennis et al., 1990; Stern und Aronson, 1984), daß die reine Informationsvermittlung relativ wirkungslos ist (vor allem dann, wenn andere Verhaltensanreize wie etwa hohe Energiepreise nicht gegeben sind), wenn nicht bestimmte Grundsätze der Informationsgestaltung beachtet werden. Einstellungs- und Verhaltensänderungen sind eher zu erwarten, wenn Informationen präzise, leicht verstehbar, personalisiert und lebendig vermittelt werden und Grundsätze für die optimale Darstellung von Alternativen (Verluste vs. Gewinne) beachtet werden.

Wirkungsvoller als reine Information ist die konkrete *Rückmeldung* über den eigenen Handlungserfolg. Die wahrgenommenen Konsequenzen umweltschonenden Verhaltens können wiederum Anlaß für die Änderung von Einstellungen und Werthaltungen sein, die dann ihrerseits wieder Einfluß auf das Verhalten haben. Rückmeldungen sind besonders dann effektiv, wenn Preise und Umweltbewußtsein hoch und die Menschen bereits zur Verhaltensänderung motiviert sind. Bei niedrigen Preisen und schwach ausgeprägtem Umweltbewußtsein sind Informationen wenig wirksam, es sei denn, die Motivation ist hoch. Die Motivation kann , vor allem dann, wenn diese öffentlich erfolgt, durch eigene Selbstverpflichtung zu umweltschonendem, energiesparendem Verhalten verstärkt werden.

Wirksamer ist bisweilen auch das "Lernen am Modell", wenn etwa bekannte Persönlichkeiten umweltschonendes Verhalten präsentieren (der Minister kommt regelmäßig mit dem Fahrrad zum Dienst). Als besonders bedeutsame Variable hat sich auch die Glaubwürdigkeit des Kommunikators bzw. der Informationsquelle erwiesen. So hatte z.B. die Energieinformation von Elektrizitätswerken weniger Wirkung als die gleiche Information durch Verbraucherberatungen oder lokale Gemeindegruppen. Informationen von Freunden und Bekannten oder die "Mund-zu-Mund"-Propaganda in lokalen Gruppen haben mehr Gewicht für eine Verhaltensänderung als eine noch so umfassende und sachliche Information durch die Medien. In kleineren, bisher eher experimentellen Untersuchungen hat sich die *"foot-in-the-door"*-Strategie bewährt. Sie beruht auf der Erkenntnis, daß eine Person eher bereit ist, in Zukunft eine größere Verpflichtung (z.B. Abfall in vier Fraktionen zu trennen) einzugehen, wenn sie zuvor schon einmal einer kleineren Verpflichtung zugestimmt hat.

Durch eine zunächst kleine Verhaltensänderung - durch welchen externen Beweggrund oder Anreiz auch immer - wird die Basis für ein umfassenderes Engagement gelegt. Daraus folgt, daß man nicht "mit der Tür ins Haus fallen" sollte, wenn Verhaltensänderungen notwendig sind, sondern eher in kleinen Schritten vorgehen muß.

Der Einsatz von Informationsstrategien ist insgesamt eine komplexe Aufgabe. Die Berücksichtigung vielfach bestätigter Erkenntnisse aus der Kognitions- und Kommunikationsforschung könnte solche Ansätze aber erfolgreicher machen, als sie bislang sind.

(2) *Handlungsanreize*

Der Einsatz von positiven und negativen Handlungsanreizen, z.B. Gewährung von Rabatten für den Kauf eines energiesparenden Autos oder die Festsetzung einer Energieabgabe, ist eine weit verbreitete und insgesamt wirksame Strategie, vor allem dann, wenn es um die Einführung "neuer" Verhaltensweisen geht. Anreize sind um so wirkungsvoller, je verhaltensnäher sie eingesetzt werden. Eine niedrige Stromrechnung am Jahresende hat weniger Effekt für ein kontinuierlich energiesparendes Verhalten als eine Prämie am Monatsende. Kontraproduktiv ist jedoch eine Erhöhung der Stromrechnung wegen gestiegener Strompreise trotz niedrigem Stromverbrauch, da Verbraucher eher in Geldeinheiten als in der Einheit von Kilowattstunden denken (Kempton und Montgomery, 1982) und sich daher für ihre Energiesparanstrengungen bestraft fühlen könnten.
Haushalte reagieren - bei gleichem Nettowert - positiver auf die Gewährung einer Prämie als auf die Gewährung eines Darlehens (Stern, 1992b). Eine neuere Fragebogenuntersuchung in der Bundesrepublik (Karger et al., 1992) ergab, daß die Befragten eher bereit sind, Umweltkosten zu übernehmen, über die sie selbst Kontrolle haben (Kauf eines energiesparenden Gerätes) als Abgaben oder Steuern, die der Staat zwangsweise erhebt, zu akzeptieren. Obwohl also Kosten ein wirksamer Anreiz zur Verhaltensänderung sind, können entsprechende Programme durch die Berücksichtigung nicht-monetärer Faktoren noch effektiver gemacht werden.

(3) *Nicht-monetäre Strategien*

Geld ist nicht der einzige Motor für Verhaltensänderungen. Auch nicht-monetäre Strategien können erfolgreich sein. Dies ist für die globale Umweltproblematik der 90er Jahre und vielleicht auch der weiteren Zukunft, die ja nicht mit gleichzeitig steigenden Energiepreisen einhergeht, besonders relevant. Die Bedeutung persönlicher Präferenzen (es wird offenbar lieber in Sturmfenster als in Wandisolierung investiert),

von Gruppenstrukturen und sozialen Netzen, von persönlichen Werthaltungen und Einstellungen und der Tatsache, daß Menschen häufig erst dann reagieren, wenn die Krise oder Katastrophe da ist, erfordert die Entwicklung weiterer Programme zur Einstellungs- und Verhaltensänderung.

Insgesamt ist festzustellen, daß nicht eine einzelne Strategie, sondern eine Kombination verschiedener Strategien am wirksamsten ist. Diese müssen situations- und zielgruppenspezifisch geplant werden und vor allem auch den kulturellen, technologischen, ökonomischen, politischen und rechtlichen Kontext miteinbeziehen.

AGENDA 21

Relevant sind aus sozial- und verhaltenswissenschaftlicher Sicht vor allem die Kapitel 23 bis 32. In ihnen wird die Rolle derjenigen gesellschaftlichen Gruppen näher beschrieben, die in besonderem Maße von globalen Umweltveränderungen betroffenen sind und die als besonders relevante Akteure für Umwelt und Entwicklung angesehen werden (Kinder, Jugendliche, Frauen, lokale Bevölkerung).

Folgende Gruppen und Bereiche der Gesellschaft werden im einzelnen spezifiziert und Maßnahmen für ihre Förderung vorgeschlagen: Frauen (Kapitel 24), Kinder und Jugendliche (Kapitel 25), eingeborene Bevölkerungsgruppen (Kapitel 26), Nicht-Regierungsorganisationen (Kapitel 27), lokale Behörden (Kapitel 28), Arbeiter und ihre Gewerkschaften (Kapitel 29), Privatwirtschaft (Kapitel 30), Wissenschaft und Technik (Kapitel 31) und Bauern/Landbevölkerung (Kapitel 32).

Bewertung

Für das Ziel der zukunftsfähigen Entwicklung (*sustainable development)* ist es notwendig, daß letzlich jeder einzelne, vor allem aber diejenigen, die für das Handeln anderer Verantwortung haben oder Multiplikatorfunktionen wahrnehmen - Politiker, Wirtschaftsführer, Arbeitgeber- und Arbeitnehmervertreter, aber auch Journalisten und Pädagogen - über eine Reihe von Voraussetzungen verfügen:

(1) Notwendig ist die Einsicht in den *Systemcharakter der Umwelt* - auf lokaler, regionaler, globaler Ebene - und in die Tatsache, daß dieses System durch menschliche Aktivitäten in gravierender Weise verändert wird, mit negativen Konsequenzen für die Natursphäre und die Anthroposphäre.

(2) Notwendig ist das Wissen um den *Systemcharakter menschlichen Handelns*, das individuell und kumulativ Ursache für viele globale Umweltveränderungen ist und von ihnen in vielfacher Hinsicht betroffen ist, wobei es adaptiv reagieren, aber auch präventiv agieren kann. Menschliches Handeln ist das Ergebnis vielfältiger Bedingungen (Multivariabilität), die in unterschiedlicher Weise ursächlich miteinander verknüpft sind (Multikausalität), und es kann eine Vielzahl unterschiedli-

cher Auswirkungen haben (Multieffektivität). Durch seine Mischung von Natur- und Kulturbedingtheit hat menschliches Handeln eine so hohe Variabilität, daß einfache, gesetzmäßige Korrelationen nur selten zu finden sind.

(3) Bei der Planung von Maßnahmen zur Veränderung der letztlich "fehlangepaßten" Verhaltensweisen von Individuen und Gesellschaften sind folgende wesentliche Einflußfaktoren zu berücksichtigen:

- Wahrnehmung und Bewertung von globalen Umweltveränderungen
- Umweltrelevantes Wissen und Informationsverarbeitung
- Einstellungen und Werthaltungen
- Handlungsanreize
- Handlungsangebote und -gelegenheiten
- Wahrnehmbare Handlungskonsequenzen

Da viele globale Umweltprobleme nicht unmittelbar anschaulich und erlebbar sind, kommt ihrer *Vermittlung* in alltäglicher Kommunikation, durch die Medien oder durch Bildungsmaßnahmen große Bedeutung zu. Um eine Sensibilisierung in Gang zu setzen und aufrecht zu erhalten, sind verschiedene sozialwissenschaftliche Erkenntnisse zu Informationsvermittlungs- und -verarbeitungsprozessen zu beachten. So ist z.B. die Wirkung von Informations- und Aufklärungskampagnen weit geringer als oft angenommen wird, vor allem dann, wenn Grundsätze der Informationsverarbeitung, wie die Bedeutung von Merkmalen des Kommunikators und der Nachricht, nicht beachtet werden.

Die Rolle von Einstellungen und Werthaltungen für umweltschonendes Verhalten wird in der Regel überschätzt. Dies gilt vor allem auch für globale gesellschaftliche Werte. Einstellungen haben eine umso höhere Vorhersagekraft für umweltschonendes Verhalten, je spezifischer sie erfaßt werden. Die Beeinflussung von Einstellungen und Wissen muß daher ergänzt werden durch motivierende Maßnahmen, bei denen nicht nur monetäre Anreize, sondern auch soziale Anerkennung mitberücksichtigt werden. Zu beachten ist ferner die Rolle von Rückmeldungen über das eigene Verhalten.

Die Einbeziehung bereits vorhandener Kenntnisse, aber auch das Ermöglichen weiteren Erkenntnisgewinns (durch Forschung, Interventionsmaßnahmen und ihre systematische Evaluation), ist eine wesentliche Grundlage für eine Umwelt-, Wirtschafts-, Arbeits- und Bildungspolitik, die eine zukunftsfähige Entwicklung anstrebt und eher einer Prävention globaler Umweltveränderungen als einer adaptiven Strategie den Vorzug gibt.

Handlungsbedarf

Umweltpolitik, die die Gefahren globaler Umweltveränderungen nicht nur für die jetzt lebenden Menschen, sondern vor allem für zukünftige Generationen ernst nimmt, muß versuchen, den Bürgern klarzumachen, welche Forderungen sich daraus für die Gegenwart, für die jetzt lebenden Generationen ergeben. Gefragt ist ein "Generationenvertrag", ein "Solidarpakt", der die voraussehbaren bzw. möglichen Interessen künftiger Generationen berücksichtigt. Dies verlangt Schonung (verantwortlichen Gebrauch) von (erneuerbaren und nicht-erneuerbaren) Ressourcen, Verminderung von Umweltverschmutzung und -zerstörung, Erhaltung der biologischen Vielfalt und insbesondere die Beachtung anthropogener globaler Probleme.

Vor allem die Politik hat die Aufgabe, diese Perspektiven nicht nur durch entsprechende Aufklärung der Bevölkerung zu vermitteln, sondern sie als Ziele politischen Handelns in entsprechenden, am individuellen oder kollektiven Verhalten orientierten Programmen zu verankern. Ein durchgreifender Wertewandel ist notwendig: Erhaltung der Natur um ihrer selbst willen und als Lebensgrundlage für kommende Generationen muß eine überwiegende Orientierung an Wachstum und Gewinn relativieren und moderieren. Vorsorge und Prävention sind gefragt, trotz und gerade wegen fehlender Sicherheiten über die Zukunft unseres Planeten. Ein Belohnungsaufschub (*delay of gratification*) ist nötig, auch wenn die "Belohnung" für unseren Verzicht erst späteren Generationen zugute kommt.

Um diesen Wertewandel, die Entwicklung von Umweltbewußtsein und vor allem von umweltverträglichem Handeln zu befördern, muß sich die Politik auch wissenschaftlicher Erkenntnisse bedienen, und zwar der Erkenntnisse jener Wissenschaften, die zur Analyse von gesellschaftlichen Werten und Wertewandel, von individuellen Werthaltungen und Einstellungen und deren Beeinflussung einen Beitrag leisten können (Umweltpsychologie, -soziologie, -pädagogik, philosophische Ethik und eine ökologisch orientierte Ökonomie). Bereits die Berücksichtigung jetzt vorliegender Erkenntnisse zur Veränderung von umweltrelevanten Einstellungen und Verhaltensweisen eröffnet der Politik genügend Handlungsspielräume: Hochglanzbroschüren, Inserate und Fernsehspots allein haben nur begrenzte Wirkung, wenn es letztlich um die Notwendigkeit geht, Verhalten dauerhaft zu ändern und Akzeptanz für umweltpolitische Maßnahmen zu gewinnen. Die Berücksichtigung von Informationsverarbeitungsstrategien, von Risikowahrnehmung und -akzeptanz, der Bedeutung von Verhaltensanreizen und Handlungsgelegenheiten und des sozialen Kontextes könnten mancher umweltpolitisch sinnvollen Maßnahme zu größerem Erfolg verhelfen. Die Erarbeitung konkreter Informations- und Interventionsprogramme könnte die Aufgabe einer interdisziplinär zusammengesetzten *task force* sein.

Forschungsbedarf

Globale Umweltveränderungen sind komplexe Prozesse, die als Wechselwirkung zwischen Natur- und Anthroposphäre zu verstehen sind. Weder in den Naturwissenschaften noch in den Gesellschaftswissenschaften sind sie aus der Perspektive und auf den theoretischen und methodischen Grundlagen nur einer einzigen wissenschaftlichen Disziplin zu analysieren. Die sozial- und verhaltenswissenschaftliche Forschung zu globalen Umweltveränderungen ist zudem noch kaum entwickelt. Sie ist meist disziplinär begrenzt und findet nur auf lokaler, allenfalls nationaler Ebene in eng begrenzten zeitlichen Horizonten statt. Es fehlen dagegen multidisziplinäre und multinationale Forschungsansätze. Die streng einzelwissenschaftlich organisierte vertikale Struktur unserer Universitäten und die Tendenz zur Spezialisierung auf immer kleinere Wissensgebiete ist für die Analyse komplexer globaler Umweltprobleme alles andere als förderlich. Große, international vernetzte Projekte gibt es nur wenige, eine Zusammenarbeit zwischen Sozial- und Naturwissenschaften findet noch kaum statt (vergleiche dazu den Bericht des Wissenschaftrates zur Umweltforschung, der 1993 erscheinen wird).

Verglichen mit der naturwissenschaftlichen Umweltforschung wird sozialwissenschafliche Umweltforschung in der Bundesrepublik Deutschland noch nicht explizit gefördert. Ein spezifisches Forschungsprogramm mit entsprechender finanzieller Ausstattung ist noch nicht in Sicht. Auf EG-Ebene gibt es mit dem dritten Rahmenprogramm für den Bereich Umwelt 1990-1994 ein erstes Förderprogramm. Dessen Sub-Programm zu "sozioökonomischer Umweltforschung" ist mit 15 Mio. ECU ausgestattet. Für die Jahre 1994-98 soll ein viertes Forschungsrahmenprogramm aufgelegt werden, das sich auch mit der "Global Change"-Problematik beschäftigt. In den USA sind weniger als 5 % des *Global Change*-Forschungsprogramms den *Human Dimensions* gewidmet.

Auf der Grundlage einer Rahmenkonzeption zu den menschlichen Dimensionen globaler Umweltveränderungen (Jacobson und Price, 1990) verabschiedete das *International Social Science Council* (ISSC) 1990 das *Human Dimensions of Global Environmental Change Programme* (HDGEC, jetzt HDP). Ziel des HDP ist u.a. die materielle und immaterielle Förderung sozial- und verhaltenswissenschaftlicher Forschung zu globalen Umweltveränderungen (siehe Kasten).

HUMAN DIMENSIONS OF GLOBAL ENVIRONMENTAL CHANGE PROGRAMME (HDP)

Das Programm des ISSC konzentriert sich im wesentlichen auf sieben inhaltliche Bereiche:

1) Soziale Dimensionen der Ressourcennutzung
2) Wahrnehmung und Bewertung globaler Umweltbedingungen und -veränderungen
3) Einflüsse lokaler, nationaler und internationaler sozioökonomischer und politischer Strukturen und Institutionen
4) Landnutzung
5) Energieproduktion und -verbrauch
6) Industrielles Wachstum
7) Umweltpolitische Sicherheitsfragen und nachhaltige Entwicklung

Für die umfassende Untersuchung von Ursachen wie Folgen globaler Umweltveränderungen ergeben sich aus den obigen Betrachtungen folgende forschungspolitische Forderungen:

- Aufgreifen der Thematik von Mensch-Umwelt-Beziehungen aus *einzelwissenschaftlicher Perspektive* in den verschiedenen Sozial- und Verhaltenswissenschaften, vor allem da, wo dies bisher noch zu wenig geschehen ist. Technische Objekte, gebaute oder vom Menschen gestaltete, kultivierte Umwelt können nicht länger nur Gegenstand von Natur- und Ingenieurwissenschaften sein. Hier gilt es, Konzepte und Methoden zu entwickeln, die der Analyse der verschiedenen Modalitäten von Mensch-Umwelt-Beziehungen angemessen sind.

- Förderung *transdisziplinärer Forschungsansätze innerhalb der Sozialwissenschaften*. Dazu wären in einem ersten Schritt die verschiedenen disziplinären Ansätze zur Untersuchung individuellen und gesellschaftlichen Handelns stärker zu verbinden. Dies ist wichtig, da das unmittelbar für globale Umweltveränderungen relevante Verhalten quer zu den traditionellen Disziplinen liegt. So müssen z.B. demographischer und ökonomischer Wandel gemeinsam thematisiert, rechtliche und ökonomische Rahmenbedingungen gemeinsam analysiert werden. Auch kulturelle, soziale und psychologische Variablen müssen integrativ aufgegriffen werden. Dies erfordert (größere) multidisziplinäre Teams. Sozial- und verhaltenswissenschaftliche Forschung muß auf allen Ebenen (lokal, regional, global) und mit unterschiedlichen zeitlichen Perspektiven (historisch, gegenwärtig, prospektiv; Querschnitt- und Längsschnittstudien) stattfinden.

- Entwicklung des Dialogs und der *Kooperation von Natur- und Sozialwissenschaften*. Die klassische Trennung der beiden Wissenschaftskulturen läßt sich angesichts der drängenden Umweltprobleme nicht mehr länger aufrechterhalten. Da es die Krise der Kultur ist, die der Krise der Natur zugrundeliegt, kann nur eine Veränderung der Kultur, der Gesellschaft, des individuellen und kollektiven Bewußtseins und Handelns der Gesellschaftsmitglieder eine zukunftsfähige Entwicklung bewirken.

  Die wachsende Erkenntnis der Interdependenz von Mensch und Natur zwingt zu einer stärkeren Zusammenarbeit zwischen Natur- und Gesellschaftswissenschaften. Die Notwendigkeit dieser Zusammenarbeit ist inzwischen erkannt, auch von den Wissenschaftlern selbst, die durch die traditionelle vertikale Fächerstruktur der Universitäten bei der Lösung globaler Probleme immer wieder an die Grenzen ihrer fachlichen Spezialisierung stoßen. Der naheliegende "Grenzverkehr" findet aber in der Regel schon deshalb nicht statt, weil der Vertreter einer bestimmten

Natur- bzw. Gesellschaftswissenschaft nicht weiß, welche Informationen und Methoden eine andere Disziplin bereithält, die sich für seine Problemstellungen als nützlich erweisen könnten. Zwar stellen problemzentrierte (Groß-)Forschungseinrichtungen eine auch strukturelle Überwindung disziplinärer Abkapselung dar, doch gibt es für den Problemkreis globaler Umweltveränderungen bisher nur erste Ansätze (wie etwa das Umweltforschungszentrum in Leipzig/Halle oder das Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, PIK), die der intensiven Förderung bedürfen. Auch das neugegründete *Terrestrial Ecosystem Research Network* (TERN) dient der transdisziplinären Kommunikation.

Beispiele für Aktivitäten, die das Zusammenwirken von bisher disparaten Forschungsrichtungen und Disziplinen ermöglichen bzw. erleichtern wollen, sind:

- das *Scientific Committee on Problems of the Environment* (SCOPE) des *International Council of Scientific Unions* (ICSU), dessen Berichte etwa zum *environmental impact assessment* oder zum Treibhauseffekt bereits zu einem Drittel von Sozialwissenschaftlern stammen,

- das *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) mit seinen Studien über alternative politische Reaktionen auf Klimaveränderungen, die ebenfalls der konzertierten Zusammenarbeit von Natur- und Sozialwissenschaftlern entstammen, und

- die *Bergen-Konferenz* (1990), deren Bericht "*Sustainable Development, Science, and Policy*" die Analyse einer zukunftsfähigen Entwicklung als multidisziplinäres Unternehmen erkennen läßt.

Man tut bei diesen wie bei künftigen multi- und interdisziplinären Initiativen allerdings gut daran, in Rechnung zu stellen, daß sich die Beiträge, die Natur- und Sozialwissenschaften zur Lösung der globalen Umweltprobleme leisten können, je nach Aufgabe anders gewichten. Folgt man den Hauptfragen, die la Rivière (1991) für die Erforschung globaler Umweltveränderungen für wichtig hält (1. Wie funktioniert das System Erde ? 2. Wie lassen sich Vorhersagen verbessern ? 3. Wie kann man umweltpolitische Entscheidungen wissenschaftlich fundieren ?), dann ergibt sich - bei einer prinzipiell geltenden Interaktion beider - ein von 1 zu 3 abnehmender Anteil naturwissenschaftlicher und zunehmender Anteil sozialwissenschaftlicher Zuständigkeit.

- Europaweit und international sind dabei Methoden und Indikatoren für eine *gesellschaftliche Dauerbeobachtung* (im Sinne eines "social monitoring"; vergleichbar dem "environmental monitoring") zu entwickeln. Es gilt, relevante sozial- und verhaltenswissenschaftliche Daten kontinuierlich bzw. periodisch zu erfassen, und zwar auch auf möglichst niedrigem Aggregationsniveau (z.B. touristisches Verhalten).

Zur Erfassung von Werten und Einstellungen in der Bevölkerung gibt es zwar eine Reihe nationaler oder europaweiter Surveys (z.B. "Eurobarometer"), die aber in der Regel weder international vergleichbare Parameter abfragen, noch alle hier relevanten Variablen erfassen. Beispielhaft für verschiedene Initiativen, die in diesem Zusammenhang gestartet wurden, seien die folgenden genannt:

- Im Rahmen des *Human Dimensions of Global Environmental Change Programme* (HDP) unter Federführung des *International Social Science Council* (ISSC) ist ein erstes Projekt zur Erfassung von Wahrnehmungs- und Kognitionsdaten geplant (Miller und Jacobson, 1992):

Global Omnibus Environmental Survey (GOES)

Unter der Bezeichnung GOES (Global Omnibus Environmental Survey) sollen periodisch (alle fünf Jahre) Daten zu Umweltwissen, Umwelteinstellungen und selbstberichteten Verhaltensweisen in verschiedenen Ländern der Welt erhoben werden. Damit soll auch versucht werden, die Beziehungen zwischen Wissen, Einstellungen und selbstberichtetem Verhalten aufzuklären. Daneben sollen Fragen der Mediennutzung bzw. der direkten Erfahrung von Umwelt thematisiert werden, um z.B. den Einfluß kultureller Traditionen auf die Entwicklung umweltrelevanter Einstellungen untersuchen zu können. Teilnehmerländer sind die USA, die EG-Staaten und Japan, dazu Bangladesch, Brasilien, China, Indien, Indonesien, Korea, Mexiko, Nigeria und Pakistan sowie Rußland und einige osteuropäische Länder.

Damit erfaßt dieses Survey mehr als zwei Drittel der Weltbevölkerung, mehr als 84 % des globalen Bruttosozialprodukts sowie mehr als 70 % der Treibhausgas-Emissionen.

- Weitere Initiativen gehen in den USA von CIESIN (Consortium for International Earth Science Information Network) aus.

- Die UNESCO bemüht sich im Rahmen des MAB-Programms international um eine vereinheitlichte Dauerbeobachtung von Biosphärenreservaten, auch unter Einbeziehung sozialwissenschaftlicher Indikatoren. Die UNESCO-Biosphärenreservate könnten ein erstes weltweit anzutreffendes Praxisfeld sein, da sie nicht nur als großräumige Schutzgebiete ausgewiesen sind, sondern auch als Forschungsflächen genutzt werden sollten.

❑ Zusätzlich bedarf es *Fallstudien* zu ähnlichen Problemen in verschiedenen Ländern, um entsprechende Vergleichsuntersuchungen durchführen zu können. Beispielhaft dafür steht etwa das *Critical Zones Project:* Ein multinationales Team konzentriert sich auf 12 Gebiete, die von schnell zunehmender Umweltzerstörung bedroht sind. Dabei geht es z.B. um einen Vergleich zwischen der gesellschaftlichen Wahrnehmung von Umweltveränderungen und umweltpolitischen Maßnahmen.

Ein weiteres Beispiel ist das gemeinsame "land cover/land use changes-Projekt" von IGBP und HDP. Ziel ist es hier, auf der Basis von regionalen Fallstudien ein globales "land cover/land use changes model" zu entwickeln (Miller und Jacobson, 1992).

❑ Nationale Initiativen zur internationalen Politik, insbesondere aber auch die von den Industrieländern geforderte umwelt- und sozialverträgliche Entwicklungshilfe bedürfen fundierter Kenntnisse der natürlichen und soziokulturellen Gegebenheiten dieser Länder.

Um diese zu fördern, ist zweierlei notwendig:
(a) Entsprechende Forschung muß *in* den jeweiligen Ländern angeregt und unterstützt werden, z.B.

- durch *Trainingsprogramme* für die Ausbildung und Weiterqualifizierung von Forschern aus Ländern, in denen noch kaum derartige Forschungsaktivitäten vorhanden sind. Dies gilt vor allem für die Länder der Dritten Welt. Das von IGBP, WCRP und HDP initiierte START-PROGRAMM (Global Change System for Analysis, Research and Training) ist ein Beispiel für solche Aktivitäten.
- durch die Beteiligung von entsprechend ausgebildeten Forschungsteams an *multinationalen Großprojekten.*

(b) Verstärkt werden müssen *kulturvergleichende* Forschungsansätze, nicht zuletzt, um die Perspektive der dortigen Partnerländer in bezug auf (globale) Umweltprobleme besser kennenlernen und in das eigene Kalkül bzw. in entsprechende Hilfsmaßnahmen einbeziehen zu können.

- Besondere Bedeutung kommt auch der Förderung der (und der Forderung nach) *Evaluationsforschung* zu. Maßnahmen, sei es im Bereich der Umwelterziehung oder im Rahmen bestimmter ökonomischer oder politischer Programme, die umwelt- und sozialverträgliche Handlungsweisen, vom Konsumverhalten bis zur industriellen Güterproduktion, fördern sollen, sind systematisch zu evaluieren. Die Evaluation darf sich nicht nur auf erreichte und nicht erreichte Ziele beschränken, sondern muß vor allem auch (unerwünschte oder unbeabsichtigte) Nebenfolgen in die Analyse einbeziehen.

- Wichtige Voraussetzungen für multidisziplinäre und multinationale Forschung sind entsprechende institutionelle Strukturen und eine angemessene finanzielle und technische Ausstattung (gute sozialwissenschaftliche Forschung ist, da personalintensiv, teuer !). Darüber hinaus sind neue Förderungsinstrumente, vor allem aber auch Begutachtungsstrukturen und -prozesse, zu entwickeln, die der neuen Qualität dieser Forschungsprojekte angemessen sind. Auch hierfür müssen die entsprechenden institutionellen Voraussetzungen geschaffen werden wie etwa die vom National Research Council für die USA vorgeschlagenen "national centers for research" (Stern et al., 1992).

Alle diese Maßnahmen sollten sowohl auf nationaler, mehr aber noch auf internationaler Ebene getroffen werden, um dem globalen Charakter der Umweltveränderungen wirklich hinreichend Rechnung tragen zu können.

E Globaler Wandel: Versuch einer Zusammenschau

Die wesentlichen Trends, ihre Verknüpfung und die daraus resultierende Dynamik

Der Beirat ist bewußt so zusammengesetzt, daß die für die Analyse globaler Umweltveränderungen wichtigsten Fachgebiete so weit wie möglich personell repräsentiert sind. Daraus ergibt sich sowohl die Chance als auch die Verpflichtung einer Ganzheitsbetrachtung der gegenwärtigen Krise im System Erde. Bloße *Multidisziplinarität*, die effektiver durch geeignetes Arrangement von Fachbeiträgen in einem Sammelband zustande kommt, reicht dafür allerdings nicht aus: Die komplexe, d.h. verflochtene Dynamik des globalen Wandels muß sich widerspiegeln in einer entsprechend vernetzten Betrachtungsweise, wo die Einsichten der verschiedenen Fachgebiete zu wechselseitigen In- und Outputgrößen werden. Daraus erwächst echte *Interdisziplinarität*, die sich zum *Expertensystem* entwickeln kann.

Wahl des Zugangs

Für die Zusammenschau bieten sich zwei grundsätzlich verschiedene Ansätze an:

1. Modellierung des gekoppelten Systems aus Natur- und Anthroposphäre auf der Basis einer umfassenden und detaillierten Beschreibung der relevanten Systemvariablen, Quellen und Senken, internen Wechselwirkungen und externen Triebkräfte.

   Im Idealfall führt diese Anstrengung durch Formalisierung zu einem mathematischen dynamischen System, das durch geeignete Initialisierung und zeitliche Integration Vorhersagen über die weitere Entwicklung des betrachteten Komplexes gestattet - zumindest im statistischen Sinne.

   Das System Erde läßt sich durch eine Hierarchie von Modellen unterschiedlichen Aggregrationsgrads auf verschiedenen raum-zeitlichen Skalen erfassen. Die ersten Schritte auf dem außerordentlich mühevollen Wege zu entsprechenden integrierten Modellen werden eben vollzogen, so daß von diesem Ansatz kurzfristig keine wirklich belastbaren Ergebnisse für die Politikberatung zu erwarten sind. Langfristig kann man allerdings von solch komplexen Modellen - und nur von diesen! - ein quantitatives Systemverständnis erwarten. Der Beirat wird diese vielversprechende Entwicklung in den kommenden Jahren mit Aufmerksamkeit verfolgen, nach Möglichkeit unterstützen und wichtige Resultate nach Bedarf in seine Überlegungen einbeziehen.

2. Empirisch-phänomenologische Systemanalyse (Bestimmung des Haupttrends, Synergieeffekte, neuralgische Punkte, Rückkopplungsschleifen usw.) auf der Basis kombinierten Expertenwissens und Intuition bei heterogener bzw. schwacher Information.

   Dies bedeutet den Versuch, die inneren Zusammenhänge des Systems Erde ohne Vorschaltung einer formalen Rekonstruktion in einem dynamischen Modell darzustellen. Hauptziel dieses Zugangs ist die Identifikation der wichtigsten Entwicklungen im Rahmen des globalen Wandels und deren Zusammenspiel. D.h. der Blick wird unmittelbar auf die vollentfaltete Dynamik sich gegenseitig bedingender kooperativer Phänomene gerichtet.

Eine solch *qualitative* Analyse umgeht die Gefahr, aus unscharfer Datenlage scharfe Aussagen ableiten zu wollen und ist deshalb für den Beirat die erste Wahl.

Beschreibung des Instruments

Als methodisches Hilfsmittel der Ganzheitsbetrachtung wird eine spezifische graphische Darstellung des globalen Beziehungsgeflechts gewählt. Dies läßt sich u.a. dadurch begründen, daß eine geometrische Kennzeichnung von Zusammenhängen zwar oft verwirrender erscheint als eine algebraische (z.B. in Matrixform), aber die direkte und indirekte Vernetzung der Systemkomponenten wesentlich deutlicher macht.

Das Beziehungsgeflecht soll wie folgt konstruiert werden:

1. Schritt:
Aufgliederung des gekoppelten Systems aus Natur- und Anthroposphäre in seine 10 Hauptbestandteile gemäß der Grundstruktur des Gutachtens. In der entsprechenden Darstellung (Abbildung 16) ist jedem Hauptkompartiment eine charakteristische Farbe zugeordnet, welche die Identifizierung von Ursache-Wirkungs-Beziehungen im voll entwickelten Diagramm erleichtern soll (siehe unten).

2. Schritt:
Bestimmung der im Rahmen des globalen Wandels unmittelbar oder mittelbar bedeutsamen Trends. Die symbolische Kennzeichnung dieser Trends erfolgt durch Ellipsen, welche an geeigneter Stelle innerhalb der Hauptkompartimente oder - bei Querschnittscharakter - dazwischen zu plazieren sind (Abbildung 17). Die Darstellung kann beliebig verfeinert werden durch Verwendung unterschiedlicher Ellipsengrößen nach Maßgabe der Bedeutung, welche der jeweiligen Entwicklung beigemessen wird.

3. Schritt:
Identifizierung der gegenseitigen Beeinflussung der globalen Trends. Wechselwirkungen können sowohl innerhalb eines Hauptkompartiments als auch zwischen den Kompartimenten bestehen. Jede Einwirkung eines Trends auf einen anderen wird durch eine Verbindungslinie zwischen den entsprechenden Ellipsen mit der Farbe des "verursachenden" Kompartiments symbolisiert. Bei Querschnittsphänomenen muß die Farbgebung nach der Nähe zu den benachbarten Teilsystemen entschieden werden.

Die Art der Einwirkung wird ebenfalls berücksichtigt und nach drei Regeln unterschieden (Abbildung 18):

(i) "Trend A verstärkt Trend B"
(ii) "Trend B schwächt Trend A ab"
(iii) "Trend C wirkt mit noch unbekanntem Nettoeffekt auf Trend D ein"

Die Analyse kann durch Einbeziehung der Mechanismen "Selbstverstärkung" bzw. "Selbstdämpfung" erweitert werden (Abbildung 18):

(iv) "Trend A verstärkt sich selbst"
(v) "Trend B schwächt sich selbst ab"

Analog zur Bewertung der Trends selbst mittels unterschiedlicher Ellipsengröße läßt sich das Ausmaß der Wechselwirkungen durch variable Stärke oder Strichelung der Verbindungslinien markieren.

Mit der Kennzeichnung der Trendabhängigkeiten ist das Globale Beziehungsgeflecht fertiggestellt. Schon bei Berücksichtigung nur der augenfälligsten Phänomene und Interdependenzen hat das Ergebnis bereits ausgesprochen komplexen Charakter und demonstriert die mit dem systemaren Ansatz verbundenen intellektuellen Herausforderungen. Im Sinne einer Einführung in die geschilderte Ganzheitsbetrachtung ist in Abbildung 19 das "Hologramm" des globalen Wandels nur in einem Anfangsstadium mit einem ersten, durch den Trend "verstärkter Treibhauseffekt" definierten Vernetzungsmuster wiedergegeben.

Gegen eine vollständige Darstellung des Beziehungsgeflechts im ersten Gutachten des Beirats spricht auch die Tatsache, daß die Bestimmung der Trends und ihrer Wechselwirkungen eine gewaltige wissenschaftliche Aufgabe darstellt. Ihre Bewältigung erfordert intensive Literaturstudien und die Berücksichtigung neuerer Forschungsergebnisse aus den verschiedensten Disziplinen; das Instrument benötigt Zeit, um auszureifen. Der Beirat sieht darin jedoch einen prinzipiellen Ansatz, um das kollektive Wissen seiner Mitglieder in fachübergreifender und systemgerechter Weise zu organisieren und laufend fortzuschreiben. In diesem Sinne könnte das globale Beziehungsgeflecht als "Generalkarte" für die Orientierung der weiteren Beiratsarbeit dienen.

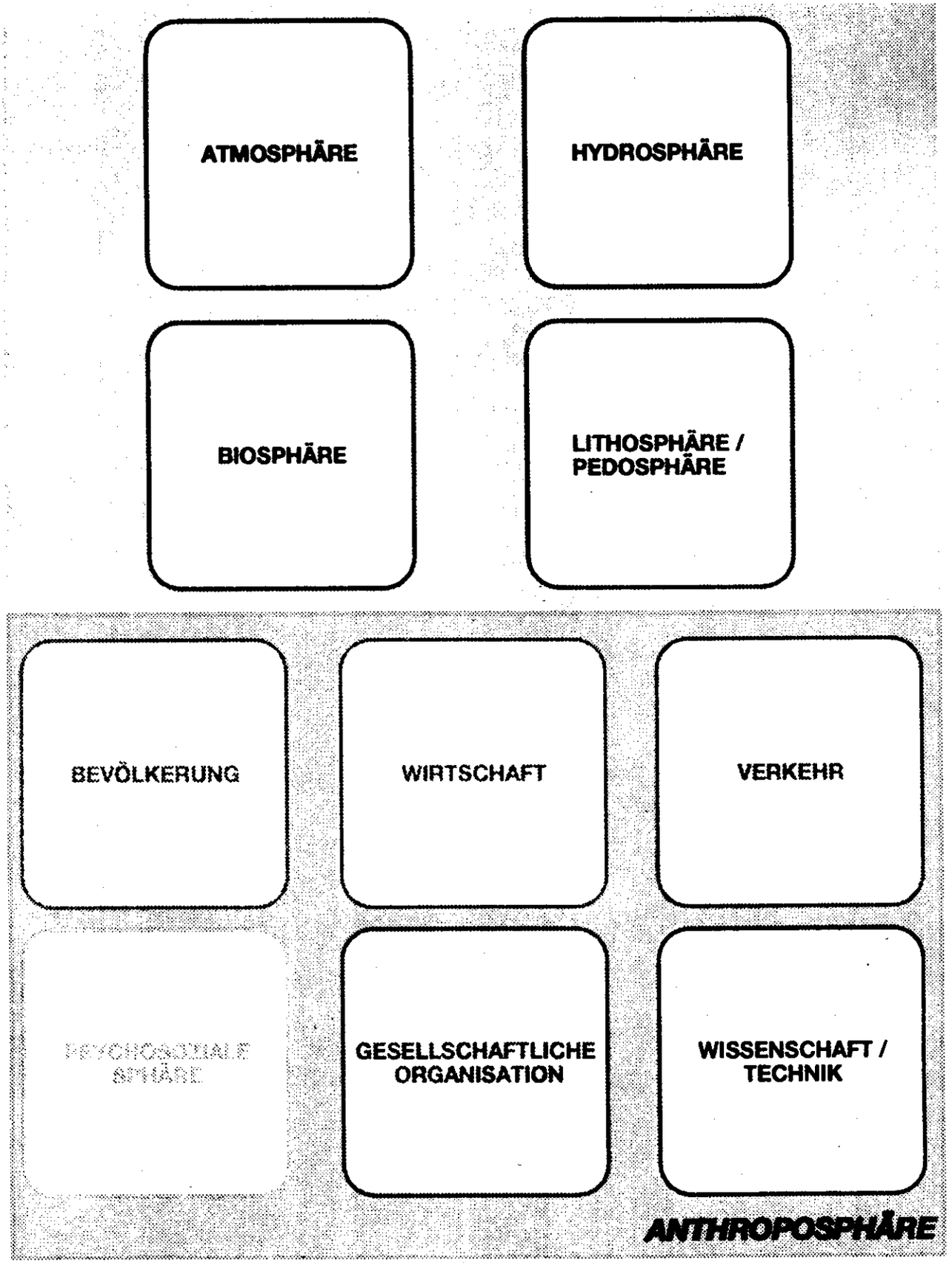


Abbildung 16: Globales Beziehungsgeflecht – Grundstruktur

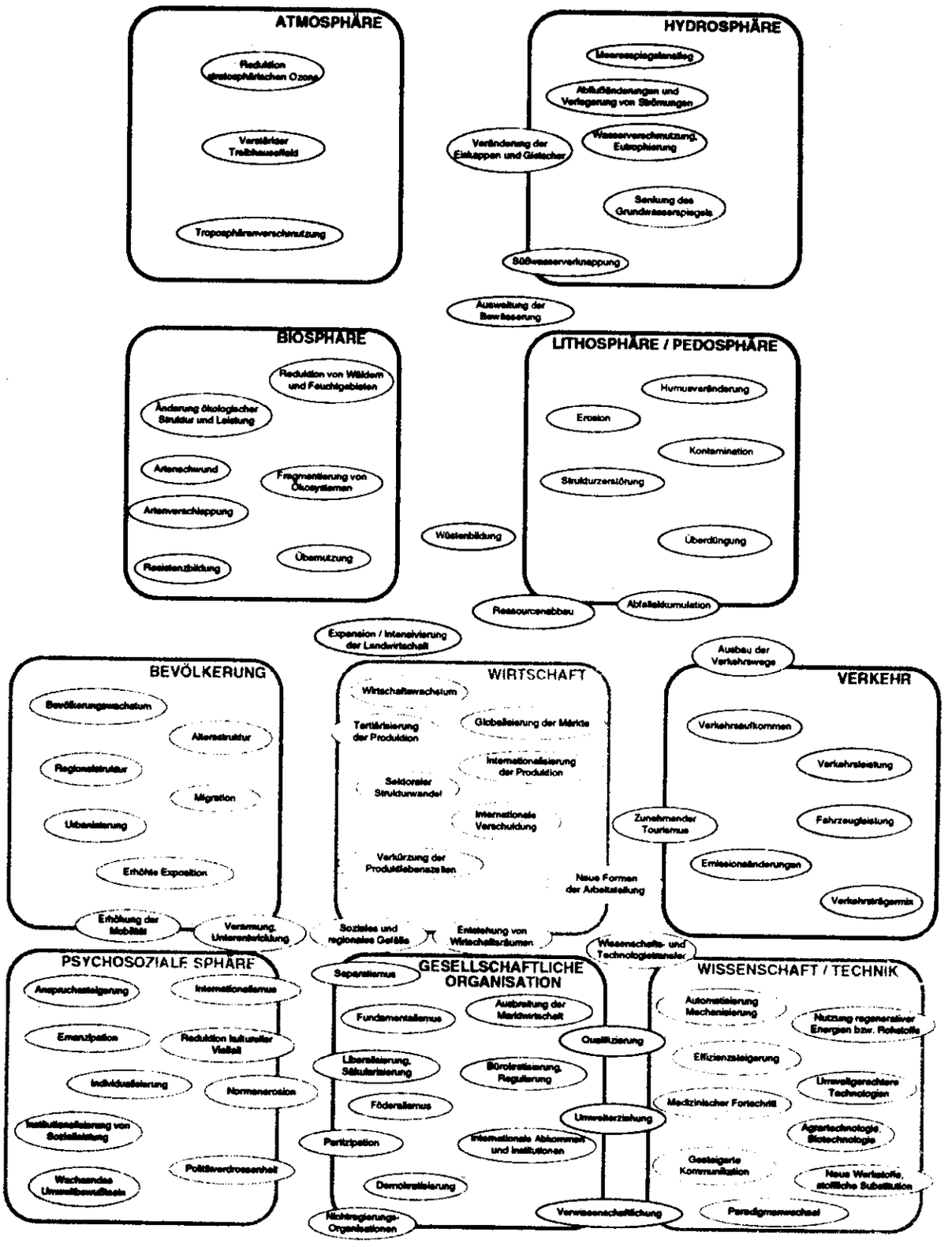
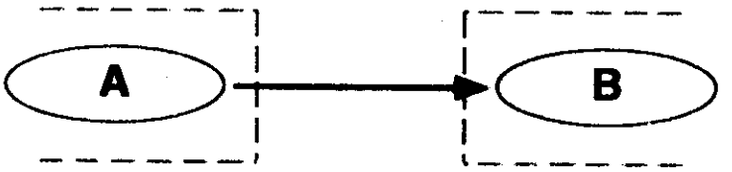


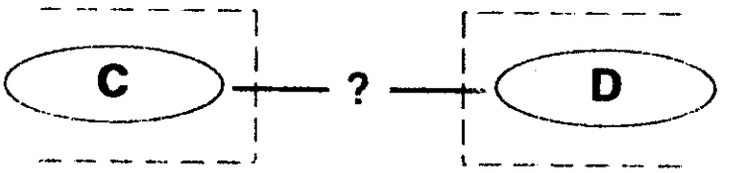
Abbildung 17: Globales Beziehungsgeflecht – Trends der Umweltveränderungen



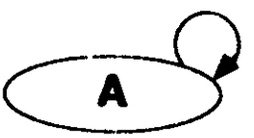
Regel 1: "Trend A verstärkt Trend B"



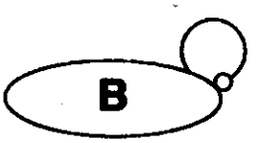
Regel 2: "Trend B schwächt Trend A ab"



Regel 3: "Trend C wirkt mit noch unbekanntem Nettoeffekt auf Trend D ein"



Regel 4: "Trend A verstärkt sich selbst"



Regel 5: "Trend B schwächt sich selbst ab"

Abbildung 18: Regeln für die Abbildung „Globales Beziehungsgeflecht"

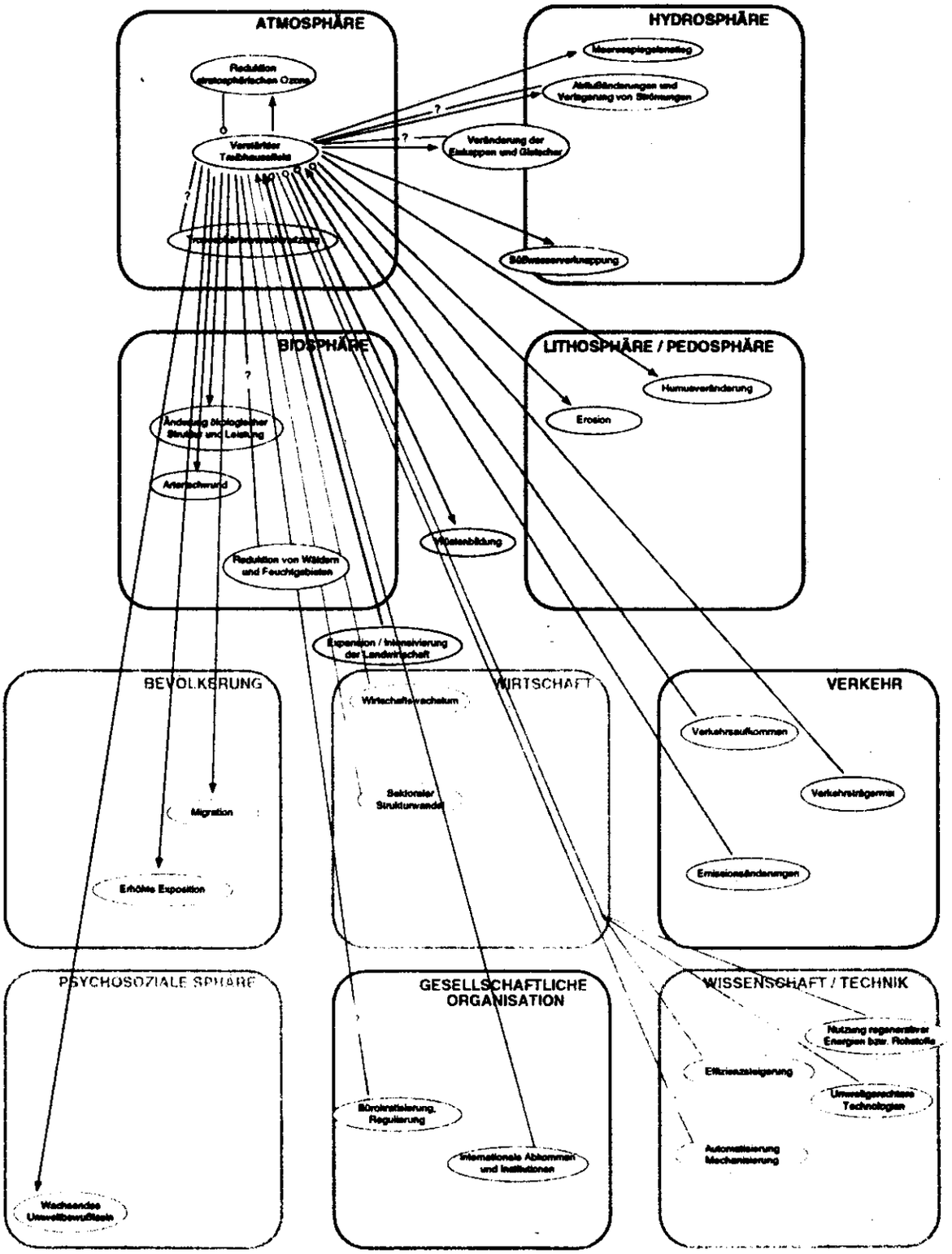


Abbildung 19: Globales Beziehungsgeflecht am Beispiel des Treibhauseffekts

Anwendungsmöglichkeiten

Generell greifen bei dem eben beschriebenen Zugang die Methoden der qualitativen Systemanalyse wie sie in den Bereichen Theoretische Ökologie, Operations Research oder Kontrolltheorie Eingang gefunden haben. Mit Hilfe solcher Verfahren wie auch durch direkte Inspektion, lassen sich aus dem hinreichend gereiften Beziehungsgeflecht eine Reihe von nichttrivialen Informationen gewinnen. Einige Möglichkeiten sind im folgenden skizziert:

- *Clusteranalyse*
  Wie homogen ist die Vernetzung der Trends und Kompartimente ? Zerfällt der Gesamtkomplex in unabhängige Teilcluster ? Gibt es "Flaschenhälse", "Kurzschlüsse", "Brennpunkte" oder "Transmissionsriemen" ?

- *Rückkopplungsanalyse*
  Welche Verstärkungs- und Dämpfungsschleifen lassen sich identifizieren ? Wo zeichnen sich über gegenläufige Trends oder Rückstellkräfte Polarisationen bzw. Gleichgewichtstendenzen ab ?

- *Synergiebetrachtung*
  Welche unterschiedlichen Einflüsse auf einen bestimmten Trend überlagern sich nicht einfach nur, sondern wirken nichtlinear zusammen ?

- *Sensibilitätsanalyse*
  Welche Trends zielen auf besonders fragile Komponenten der Natur- bzw. Anthroposphäre ? Dort wo große Entwicklungsdynamik und hohe Verletzbarkeit zusammenfallen, sind gravierende aktuelle oder künftige Problemfelder definiert.

Das Beziehungsgeflecht läßt sich darüber hinaus nutzen, um Forschungsdefizite aufzuzeigen (siehe z.B. die durch Fragezeichen markierten Wechselwirkungen) oder um sich einen Überblick über den internationalen Prozeß der Umweltkonventionen zu verschaffen ("konventionsreife" bzw. "konventionsbedürftige" Umwelt- und Entwicklungsprobleme können etwa durch verschiedenartige zusätzliche Symbole auf dem Hologramm gekennzeichnet werden).

Das Instrument läßt sich zudem *regionalisieren* und *historisieren*:

Im ersten Fall kann das Beziehungsgeflecht z.B. für Industrie- bzw. Entwicklungsländer oder verschiedene Kontinente durchdekliniert werden. Dadurch würden nicht nur die zunächst schwer vermeidbaren eurozentrischen Perspektiven relativiert, sondern auch die weltweiten Interessensgegensätze und Spannungen als Haupthindernisse einer vorsorgenden Umwelt- und Entwicklungspolitik kenntlich gemacht.

Im zweiten Falle kann man versuchen, das Beziehungsgeflecht in seiner historischen Entwicklung mittels sukzessiver Momentaufnahmen (z.B. für die Jahre 1800, 1900, 1930, 1960, 1990) zu rekonstruieren. Damit erschlösse sich u.a. eine Möglichkeit, die längerfristigen Haupttriebkräfte des globalen Wandels zu identifizieren.

Schließlich läßt sich das Hologramm - in Analogie zu einem quantitativen Modell - *dynamisieren*, d.h. als qualitativer Automat verwenden. Zwei Möglichkeiten seien hier genannt:

- *Iteration*
  Das Zusammenspiel aller Entwicklungstendenzen gestaltet den globalen Wandel in der Zeit. Durch summarische Bewertung der Trends und Wechselwirkungen und anschließende Bilanzierung aller Beeinflussungen, Synergismen und Antagonismen kann der Versuch gemacht werden, den Zustand des Systems Erde für die nahe Zukunft zu prognostizieren.

- *Crash-Szenarien*
  Sensibilität bzw. Stabilität des globalen Systems können durch qualitative Gedankenexperimente getestet werden: Hierzu speist man punktuell massive Störungen oder Impulse, z.B. Verdopplung der Weltbevölkerung oder technologische Entwicklungssprünge ("Geoengineering", Durchbruch bei der Solartechnik usw.), in das Beziehungsgeflecht ein und verfolgt, wie sich diese Anregungen im System ausbreiten.

Die Beschränkungen und Möglichkeiten des dargestellten Zugangs zur Ganzheitsbetrachtung gilt es in den nächsten Jahren auszuloten. Der Beirat ist der Ansicht, daß diese Anstrengung gerechtfertigt ist: Die Dimension der Problemstellung erfordert neue und unkonventionelle Lösungswege.

F Empfehlungen

Empfehlungen zu Forschung und politischem Handeln

Die Reaktionen der Politik und weiter Teile der Öffentlichkeit auf die Hinweise der Wissenschaft zu globalen Umweltveränderungen und ihren anthropogenen Ursachen sind noch nicht eindeutig. Lange Zeit waren sie von Mißtrauen gegenüber den oftmals noch widersprüchlichen Aussagen geprägt. Die Forderung nach wissenschaftlichen Beweisen und "verläßlichen" Prognosen stand daher im Vordergrund. Spätestens bei der Konferenz für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro 1992 setzte sich jedoch die Auffassung durch, daß bestimmte Vermeidungsstrategien und Eindämmungsmaßnahmen angesichts der sich verdichtenden Informationen über Umweltrisiken sofort eingeleitet werden müssen, selbst wenn die wissenschaftlichen Grundlagen für eine Erfolgsbewertung noch nicht voll erarbeitet sind.

Der Beirat teilt diese Auffassung und empfiehlt in diesem Bericht einige Sofortmaßnahmen. Er weist aber auf die Gefahren hin, die aus Maßnahmen erwachsen können, die wissenschaftlich noch nicht auf ihre langfristigen Aus- oder Nebenwirkungen untersucht wurden. Er empfiehlt daher, die laufenden und beginnenden Maßnahmen zur Eindämmung globaler Umweltprobleme durch geeignete Forschungsprogramme kritisch zu begleiten und die künftige, langfristig angelegte globale Umweltpolitik in entsprechender Weise vorzubereiten und zu untermauern. Dazu ist ein neues Konzept interdisziplinärer Kooperation und internationaler Vernetzung der Forschung erforderlich. Der Beirat wird dazu, unter Berücksichtigung des Gutachtens des Wissenschaftsrates zur Umweltforschung, schon an dieser Stelle, aber vor allem in zukünftigen Gutachten Vorschläge entwickeln.

Forschungsbedarf

Die globalen Umweltveränderungen stellen die Forschung weltweit vor neuartige Aufgaben. Die gegenwärtige Organisation der Forschung ist dieser Herausforderung nicht angemessen. Der Komplexität der Probleme muß die *Interdisziplinarität*, dem globalen Charakter der Vorgänge die *internationale Verflechtung* der Forschungsprogramme entsprechen. Interdisziplinarität bei globaler Umweltforschung wird bisher überwiegend nur als Bündelung ähnlicher (naturwissenschaftlicher) Disziplinen verstanden, die sich gemeinsam einem Teilproblem, wie z.B. der Aufklärung der Ozonabnahme in der Stratosphäre, widmen. Länderübergreifend und auf mehrere Teilprobleme ausgeweitet bestehen bereits einige locker abgesprochene Forschungskooperationen, deren Anstrengungen aber meist auf Teilgebiete beschränkt sind. Die notwendige Veränderung des Umgangs mit der Natur fordert vor allem die Gesellschaftswissenschaften heraus, die Wechselwirkungen zwischen Natur- und Anthroposphäre genauer zu untersuchen und Ansätze für ein umweltpolitisches Handeln zu liefern. Isoliert voneinander werden die einzelnen Disziplin-

gruppen schwerlich Antworten zu den zentralen Fragen in diesem Jahrzehnt liefern können. Für politisches Handeln jedoch sind Empfehlungen aus der Forschung unbedingt erforderlich. Deshalb sollten schon jetzt die Disziplinen der Natur- und Gesellschaftswissenschaften gemeinsam zu bestimmten weltweiten Problemen mit definierter Fragestellung forschen, wobei auch die Förderung koordiniert vergeben werden sollte.

Unter Bezug auf die vielen Forschungsempfehlungen in den einzelnen Sachkapiteln hebt der Beirat hier den Forschungsbedarf für einige Problemkreise besonders hervor:

- Verständnis der Vernetzung der Natur- und Anthroposphäre durch Modellierung, weltweite Beobachtungsprogramme und Prozeßstudien.

- Entkopplung der Kreisläufe von Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel.

- Langfristige Wirkungen der veränderten globalen Stickstoff- und Kohlenstoffkreisläufe auf naturnahe Ökosysteme und die landwirtschaftliche Produktion.

- Verfügbarkeit von Wasser bei wachsender Bevölkerung und regional unterschiedlichen anthropogenen Klimaänderungen.

- Regionsspezifische Strategien zur Erreichung der in der Klimakonvention und der Konvention zum Schutz der biologischen Vielfalt festgelegten Ziele.

- Schaffung und Erhaltung ökologisch stabiler Kulturlandschaften.

- Möglichkeiten zu einer weltweiten Reduzierung des Bevölkerungszuwachses und zur Abschwächung des Trends zu Migration und Urbanisierung.

- Sensibilisierung der Menschen in verschiedenen Kulturregionen für globale Umweltprobleme und Möglichkeiten der Veränderung ihres umweltschädigenden Verhaltens.

- Globale Umweltaspekte des großräumigen Strukturwandels der Weltwirtschaft.

- Transfer umweltverträglicher Technologien, d.h. Entwicklung von Modellen und Programmen eines angemessenen Transfers für verschiedene Ländergruppen, wobei eine technologische Zusammenarbeit angestrebt werden sollte.

- Auswirkungen der gegenwärtigen Institutionen der Weltwirtschaftsordnung auf Umwelt und Entwicklung.

- Fortentwicklung der Instrumente zum Schutz der globalen Kollektivgüter, differenziert nach den Problembereichen.

- Bewertung globaler Kollektivgüter, insbesondere Berücksichtigung des Bedarfs künftiger Generationen.

- Entwicklung von ökologischen Indikatoren sowie einer globalen Vermögensrechnung zur Abschätzung des "ökologischen Realkapitals" als Grundlage einer Politik der nachhaltigen Entwicklung.

- Analyse sozialer Konflikte und Entwicklung von Lösungsstrategien beim Umgang mit globalen Umweltproblemen.

- Bedeutung der Medien für die Bewertung globaler Umweltprobleme.

Wie erwähnt, verlangen alle vorgenannten Themenbereiche eine disziplinübergreifende Behandlung mit entsprechender Strukturierung. Der Beirat illustriert dies am Beispiel der Klimaveränderungen und bezieht sich dabei auf die *Klimakonvention* der Vereinten Nationen vom 12. Juni 1992. Die genannten Forschungsthemen werden auch bei der Umsetzung anderer Konventionen helfen können.

Das zentrale Ziel der Klimakonvention "Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen", ist gleichbedeutend mit einer Reduzierung der Nutzung fossiler Brennstoffe. Die Umsetzung dieses Zieles erfordert Forschung, die sowohl von Natur- und Gesellschaftswissenschaften allein als auch kombiniert beantwortet werden kann. Zwei Beispiele für Fragen, die ohne Beteiligung der Naturwissenschaften beantwortet werden können, sind:

- Wie lassen sich in einzelnen Ländern Reduktionen der CO_2-Emission am besten erreichen (z.B. durch Zertifikate, Steuern, ordnungsrechtliche Maßnahmen) ?

- Welche Form internationaler Abkommen zur Minderung globaler Umweltbelastungen ist bei Achtung der Souveränität der Staaten besonders wirksam ?

Alle Wissenschaften sind hingegen gefordert, wenn es um die drei Nebenbedingungen des Hauptzieles der Klimakonvention geht:

Die *erste* Nebenbedingung fordert Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen innerhalb einer Zeitspanne, die den Ökosystemen ihre natürliche Anpas-

sungsfähigkeit bei den auftretenden Klimaänderungen erhält. Dafür ist gegenwärtig kein Zahlenwert anzugeben. Wir wissen z.B. nicht, wie schnell und in welchem Umfang sich Vegetationszonen verschieben können.

Die *zweite* Nebenbedingung setzt einen Zeitmaßstab zur Erreichung der Stabilität der Treibhausgaskonzentrationen, und zwar soll die Nahrungsmittelerzeugung für die Menschen durch anthropogene Klimaänderungen insgesamt nicht gefährdet werden. Also sind zwei wichtige Fragen zu beantworten:

- Wie kann in den Industrieländern Landwirtschaft bei Erhalt der Bodenfruchtbarkeit auch in Zeiten rascher Klimaänderungen betrieben werden ?

- Wie könnte an natürliche Variabilität und anthropogene Klimaänderungen angepaßte Landwirtschaft in den humiden und semiariden Tropen aussehen, welche die Bevölkerung ernährt, Erosion vermeidet und möglichst die Urbanisierung dämpft sowie zum Erhalt der biologischen Vielfalt beiträgt ?

Die *dritte* Nebenbedingung fordert, daß die anthropogenen Klimaänderungen so langsam sind, daß die nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung möglich bleibt. Bedarf besteht hierbei an der Erforschung derjenigen Rahmenbedingungen der Wirtschaftssysteme, die eine angemessene wirtschaftliche Entwicklung ermöglichen. Ein wichtiger Bestandteil ist dabei die Erforschung der Wege, wie die Menschen bei wirtschaftlichen Entscheidungsprozessen zu einer Berücksichtigung der Umwelt angeleitet werden können.

Welche Folgen ergeben sich angesichts der notwendigen Umsetzung der Konventionen für die Forschung in der Bundesrepublik Deutschland ?

Die Antwort auf diese Frage betrifft vor allem die Struktur der Forschungsprogramme und der Forschungsinstitutionen. Ausgehend von der starken Vernetzung im System Erde ist auch die Forschungsorganisation netzartig zu gestalten. Um Kernbereiche, welche hohe Kompetenz im fachlichen Bereich wie auch die entsprechende materielle Ausstattung vereinen, sollten sich Gruppen hoher sachlicher Kompetenz aus anderen Disziplinen scharen, die alle gemeinsam eines der oben angesprochenen breiten Themen erforschen und dabei auch die Werkzeuge des Kernbereiches nutzen. Bei jedem größeren Thema ist eine Balance zwischen der Datenerhebung, der Erstellung globaler Datensätze, der Modellierung und Validierung der Modell-Ergebnisse notwendig.

Während im naturwissenschaftlichen Bereich diese Vernetzung teilweise schon existiert, begonnen hat oder geplant ist, besteht großer Nachholbedarf im sozialwissenschaftlichen Bereich. Da ein einzelnes Land schon aus rein finanziellen

Gründen nicht auf allen Gebieten Spitzenleistungen erbringen kann, ist insbesondere die Vernetzung mit dem europäischen Ausland sicherlich notwendig. Aber auch die Zusammenarbeit mit den Entwicklungsländern in der Forschung zu globalen Umweltveränderungen ist ein Muß. Die Einpassung nationaler in internationale Forschungsprogramme ist dann besser zu handhaben und abzustimmen. Bei Formulierung solcher Programme ist stärker als bisher mitzuarbeiten. Um politische Handlungsempfehlungen geben zu können, ist die nationale Kompetenz in bisher schwach vertretenen Forschungsbereichen zu stärken.

Handlungsempfehlungen

Angesichts der vielfältigen Wechselbeziehungen in und zwischen Natursphäre und Anthroposphäre ist es nicht leicht, Prioritäten für politisches Handeln zur Behebung oder Linderung globaler Umweltprobleme zu formulieren. Trotz teilweise sehr hohen Problemdrucks bei einigen dieser globalen Umweltveränderungen ist ein koordiniertes Handeln vieler Länder oft durch fehlende internationale Absprachen und durch häufig bestehende Verständnis- und Informationsdefizite behindert. Der hier vorgestellte Versuch einer Prioritätensetzung ist deshalb auf der Basis nur weniger Kriterien erfolgt:

- Höhe und Zunahme des Problemdrucks
- Möglichkeit einer globalen Strategie zur Verminderung der Umweltbelastung
- Besonderer Beitrag der Bundesrepublik Deutschland

Die nach dem ersten Kriterium, *dem hohen und zunehmenden Problemdruck,* gravierendsten globalen Probleme oder Haupttrends sind nach Einschätzung des Beirats:

- **Zunahme der Bevölkerung der Erde**
  Dieses zentrale Problem ist ein kurzfristig nur schwer zu beeinflussender, aber ein die globalen Umweltveränderungen langfristig bestimmender Faktor. Der Bevölkerungszuwachs ist oft stark mit Armut verknüpft, so daß deren Bekämpfung neben Familienplanung, Verbesserung der Stellung der Frau in der Gesellschaft und Ausbildung eine wichtige Aufgabe ist.

- **Langfristig veränderte Zusammensetzung der Atmosphäre**
  Als wichtigste Teilaspekte sind hier zu nennen:
  - Der vom Menschen verursachte Anstieg der Konzentration natürlicher Treibhausgase (Kohlendioxid, Methan und Distickstoffoxid).
  - Zunahme synthetischer Stoffe in der Atmosphäre (z.B. Fluorchlorkohlenwasserstoffe)
  - Globale Klimaänderungen durch den Anstieg der genannten Spurengase

- Folgen des so veränderten Klimas wie die Verlagerung der Vegetationszonen, der Meeresspiegelanstieg und die veränderte Wasserverfügbarkeit
- Reaktionen der Menschen auf erwartete und eingetretene Klimaänderungen.

- **Rückgang der biologischen Vielfalt**
  Wir Menschen können nur zusammen mit vielen Pflanzen- und Tierarten existieren. Trotzdem zerstören wir deren Lebensraum durch die Rodung tropischer Wälder, durch die Ausdehnung der Siedlungsfläche, durch die Emission von Schadstoffen in Luft und Wasser sowie durch die Intensivierung der Landwirtschaft in den Industrieländern. Vielfalt stabilisiert in der Regel Ökosysteme, wir wissen jedoch nicht, wann Artenschwund sie irreversibel schädigt.

- **Degradierung und Verlust von Böden**
  Die Böden als "dünne Haut" der festen Erde und als Basis für unsere Ernährung werden bei wachsender Bevölkerung der Erde oft übernutzt, dann erodiert. Selbst besonders fragile Böden werden zu landwirtschaftlicher Produktion genutzt und oft rasch zerstört, viele werden durch Schadstoffe belastet. Die Gesamtfläche nutzbarer Böden nimmt kontinuierlich ab.

Allen diesen Haupttrends gemeinsam ist beschleunigtes Wachstum und die Langfristigkeit der Auswirkungen, deren Zeitskalen im Bereich von Jahrzehnten, eher Jahrhunderten liegen. Trotzdem sind rasche kleine Schritte wesentlich für eine langfristige Dämpfung belastender oder zerstörender Auswirkungen. Die Haupttrends sind nicht unabhängig voneinander. So erhöht z.B. die Bevölkerungszunahme die Degradierung von Böden, diese erhöht wiederum die Belastung der Atmosphäre mit langlebigen Treibhausgasen, die über Klimaänderungen die Abnahme der biologischen Vielfalt beschleunigt, usw.

Für das zweite Kriterium, die *Strategiefähigkeit*, gibt es für die genannten vier Haupttrends keine einheitlichen Antworten. Für die Reduktion der Emissionen langlebiger Treibhausgase besteht bereits eine detailliert formulierte und von 154 Nationen gezeichnete Klimakonvention, die wohl in Kürze völkerrechtlich verbindlich sein wird und die bei der für 1994 geplanten Vertragsstaatenkonferenz in der Bundesrepublik Deutschland mit ersten Ausführungsprotokollen umgesetzt werden soll. Im Gegensatz dazu gibt es noch kein überzeugendes Handeln zur Reduktion der gegenwärtigen jährlichen Zuwachsrate der Weltbevölkerung von 1,7 %. Aber auch die Konvention zum Schutz der biologischen Vielfalt ist weiter von der Umsetzung entfernt als die Klimakonvention. Die von den Vereinten Nationen in Auftrag gegebene Formulierung einer Konvention zur Einschränkung der Wüsten, die 1994

unterzeichnet werden soll, wird wahrscheinlich nur in Teilen auch Maßnahmen zum Bodenschutz enthalten. Wesentliche Veränderungen der Bodenfunktionen und entsprechende Gegenmaßnahmen sind ebenso zu berücksichtigen; hierzu fehlt bisher ein internationales Forum zur Verabschiedung verbindlicher Abkommen. Die vom Beirat geforderte Konvention zum Schutz der Wälder kann wesentlich zum Erhalt der Böden und ihrer Qualität beitragen.

Was das dritte Kriterium betrifft, den *Beitrag der Bundesrepublik Deutschland*, so sind die Möglichkeiten und Ansatzpunkte, zur Entschärfung dieser Haupttrends beizutragen, sehr unterschiedlich. Wegen unseres überproportionalen Beitrags zur veränderten Zusammensetzung der Atmosphäre ist ein überproportionaler Einsatz bei der Umsetzung der Klimakonvention geboten und angemessen. Obwohl in Deutschland und in vielen anderen hochentwickelten Ländern das Bevölkerungswachstum sehr gering bzw. abnehmend ist, sind auch wir angesichts der Brisanz der Weltbevölkerungsentwicklung verpflichtet, durch internationale Kooperation, Beratung und Finanzierung eine den jeweiligen Rahmenbedingungen entsprechende institutionalisierte Bevölkerungspolitik zu ermöglichen. Andernfalls würden z.B. unsere eigenen Anstrengungen zur Minderung der Emission von Treibhausgasen durch Bevölkerungswachstum in anderen Regionen wieder zunichte gemacht. Ähnliches gilt für den Bodenschutz. Nur gemeinsame, mit Entwicklungsländern erarbeitete, produktive aber ökologisch verträgliche Praktiken der Landbewirtschaftung, die die Prinzipien der *Welt-Boden-Charta* und der AGENDA 21 berücksichtigen, vermindern die Bedrohung der Böden. In diesem Sinne sollte die Bundesrepublik Deutschland alle Möglichkeiten zur technologischen Zusammenarbeit und zum Technologietransfer ausschöpfen. Unsere Mitarbeit bei der Umsetzung der Konvention zum Schutz der biologischen Vielfalt wird in anderen Ländern auch daran gemessen werden, ob wir es im eigenen Land schaffen, die biologische Vielfalt in der Kulturlandschaft wieder zu erhöhen.

Prinzipien des Handelns zur Verminderung von globalen Umweltveränderungen sind:

- Berücksichtigung der Konsequenzen für das ganze System Erde bei jeder Einzelentscheidung
- Beachtung der Einheit von Umwelt und Entwicklung bei jeder politischen Entscheidung
- Ausweitung der ökonomischen Bewertungssysteme auf Naturgüter

Dieses erste Gutachten des Beirats konzentriert sich auf die Darstellung der globalen Umweltveränderungen in ihren Verflechtungen. Dennoch finden sich in den einzelnen Kapiteln themenspezifische Empfehlungen für politische Maßnahmen und zum Forschungsbedarf. Eine Reihe zentraler Fragen, wie die globale Ressourcensicherung unter Einbeziehung aller Möglichkeiten, die Nutzerseite zu beeinflussen, und die Institutionalisierung des Dialogs und der

Kooperation zwischen Industrie- und Entwicklungsländern zur globalen Umweltpolitik, konnten dabei noch nicht behandelt werden. Der Beirat hebt abschließend drei übergreifende Gesichtspunkte als Vorschläge für die Bundesregierung hervor:

1) Erhöhung des für **Entwicklungshilfe** aufgewendeten Anteils am Bruttosozialprodukt von derzeit etwa 0,4 % über die in Rio de Janeiro als Zielgröße genannten 0,7 % hinaus auf 1,0 %.

   Dabei sollte eine von der Bundesrepublik Deutschland mitangeregte Neudefinition der Zugehörigkeit zu Entwicklungsländern durch die Vereinten Nationen beachtet werden. Diese soll die weltpolitischen Veränderungen der letzten Jahre, besonders die ökonomischen und ökologischen Anpassungsprobleme im osteuropäischen Raum miteinbeziehen.

   Die Steigerung des Prozentsatzes soll für Maßnahmen zur Behebung der Armut, der Verbesserung der Stellung der Frau und der Familienplanung verwendet werden. Neben dem finanziellen Transfer kommt der Intensivierung der technologischen Zusammenarbeit mit den Entwicklungsländern sowie der Entwicklung und Erprobung, dem Transfer und der Umsetzung geeigneter, umweltverträglicher Technologien besondere Bedeutung zu.

2) Beim Einsatz der **Instrumente** für die in Rio de Janeiro diskutierten und teilweise beschlossenen Programme werden folgende Aktivitäten vorgeschlagen:

   - zur **weltweiten Reduzierung der CO_2-Emissionen** sollte die Bundesregierung die in Rio de Janeiro begonnene Diskussion um eine globale "Zertifikatslösung" mit dem Ziel fortführen, deren internationale Einführung zu ermöglichen;

   - parallel zu der dann erfolgenden CO_2-Reduzierung sollte auf erhöhte Transfers zum **Schutz der Tropenwälder** hingewirkt werden, weil damit gewissermaßen Subventionen an die Eigentümerländer gezahlt werden, damit sie das globale öffentliche Gut "Tropenwald" erhalten. Dieser Finanzierungsmechanismus sollte mit einer Zweckbindung versehen sein, um die Aufbringung der Mittel zu erleichtern.

3) **Sensibilisierung der Bürger** für globale Umweltprobleme.
   Durch verstärkte, zielgruppenspezifische Information und geeignete Programme zur Veränderung von Umweltbewußtsein und Umweltverhalten sind alle Möglichkeiten zu nutzen, menschliches Handeln als Ursache und

Folge globaler Umweltveränderungen immer wieder deutlich zu machen und entsprechend zu beeinflußen.

Der Beirat betont nachdrücklich die Brisanz der dargestellten globalen Umweltprobleme. Die daraus erwachsenden Aufgaben müssen auch in schwierigen politischen und finanziellen Situationen auf nationaler und regionaler Ebene mit höchster Priorität angegangen werden.

G Literaturangaben

Abbasi, D. R. (1992): Agenda 21's Financing Inches Forward. Earth Summit Times, vom 6. 6. 1992.

Ali, R. und Pitkin, B. (1991): Ernährungssicherung in Afrika. Finanzierung & Entwicklung 28, 3 ff.

Amelung, T. und Diehl, M. (1992): Deforestation of Tropical Rain Forests. Tübingen: C. B. Mohr.

Andreae, M. O. und Schimel, D. S. (Hrsg.) (1989): Exchange of Trace Gases between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere. Chichester: John Wiley & Sons.

Andreae, M. O., Talbot, R. W., Andreae, T. W. und Harriss, R. C. (1988): Formic and Acetic Acid over the Central Amazon Region, Brazil. - 1. Dry season. Journal of Geophysical Research 93 (D2), 1616-1624.

Armbruster, M. und Weber, R. (1991): Klimaänderungen und Landwirtschaft. Agrarwirtschaft 40 (11), 353 ff.

Arnold, R. W., Szaboles, I. und Targulion, V. O. (1990): Global Soil Change. Report of the IIASA-ISSS-UNEP Task Force, Laxenburg, Austria: IIASA.

Arrow, K. J. und Fisher, A. C. (1974): Environmental Preservation, Uncertainty and Irreversibility. Quarterly Journal of Economics 88 (2), 312-319.

Ashford, T. (1991): Nitrate Solutions: Dissolving the Problems of the Common Agricultural Policy. Norwich

Bakun, A. (1990): Global Climate Change and Intensification of Coastal Ocean Upwelling. Science 247, 198-201.

Barghouti, S. und Le Moigne, G. (1991): Bewässerung und umweltpolitische Herausforderung. Finanzierung & Entwicklung 28 (2), 32 ff.

Bayerische Rück (Hrsg.) (1993): Risiko ist ein Konstrukt. Wahrnehmungen zur Risikowahrnehmung. Band 2. München: Knesebeck.

Beck, U. (1986): Risikogesellschaft. Auf dem Weg in eine andere Moderne. Frankfurt/Main: Suhrkamp.

Bell, D. (1973): The Coming of Postindustrial Society. New York.

Bender, D. (1976): Makroökonomik des Umweltschutzes. Göttingen.

Berger, P. und Luckmann, T. (1972): Die gesellschaftliche Konstruktion der Wirklichkeit. Eine Theorie der Wissenssoziologie. Frankfurt/Main: Fischer.

Binswanger, H. (1989): Brazilian Policies That Encourage Deforestation in the Amazon. The World Bank - Environmental Department Working Paper No. 16. Washington, D.C: The World Bank.

Birg, H., Schmid, J. und Brandrup-Lukanow, A. (1992): Raumschiff oder Rettungsboot? Globale Bevölkerungsentwicklung und ökologische Tragfähigkeit. Dokumentationen, Informationen, Meinungen. Bonn: Deutsche Gesellschaft für die Vereinten Nationen (DGVN).

Bishop, R. C. (1978): Endangered Species and Uncertainty: The Economics of a Safe Minimum Standard. American Journal of Agricultural Economics 60 (1), 10-18.

Blake, R. (1992): Herausforderungen für die weltweite Agrarforschung. Finanzierung & Entwicklung 29 (1), 30 ff.

Blankart, C.-B. (1991): Öffentliche Finanzen in der Demokratie - Eine Einführung in die Finanzwissenschaft. München.

Blumthaler, M. und Ambach, W. (1990): Indication of Increasing Solar UV-B Radiation Flux in Alpine Regions. Science 248, 206-208.

BMFT - Bundesministerium für Forschung und Technologie (1992): Forschungsrahmenkonzeption - Globale Umweltveränderungen 1992-1995. Bonn: Selbstverlag.

BMFT - Bundesministerium für Forschung und Technologie (1992): Global Change - Unsere Erde im Wandel. Bonn: Selbstverlag.

BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1992): Konvention über die Biologische Vielfalt. In: BMU (Hrsg.): Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung im Juni 1992 in Rio de Janeiro - Dokumente. Bonn: Selbstverlag,

BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1992): Nicht rechtsverbindliche, maßgebliche Darlegung von Grundsätzen eines weltweiten Konsenses über Bewirtschaftung, Erhaltung und nachhaltige Entwicklung aller Waldarten ("Walderklärung"). In: BMU (Hrsg.): Umweltpolitik. Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung im Juni 1992 in Rio de Janeiro - Dokumente. Bonn: Selbstverlag, 49-55.

BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.)(1993): Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung im Juni 1992 in Rio de Janeiro - Dokumente. Bonn: Selbstverlag.

BMV - Bundesministerium für Verkehr (1991): Verkehr in Zahlen. Bonn: Selbstverlag.

Boeckh, A. (1992): Entwicklungstheorien: Eine Rückschau. In: Nohlen, D. und Nuscheler, F. (Hrsg.): Handbuch der Dritten Welt. Bonn. 110 ff.

Bookman, C. A. (1993): A Sea Change for Oil Tanker Safety. In: Institute of Marine Environmental Sciences - University of Genova (Hrsg.): Third International Symposium on Coastal Ocean Space Utilization. Band 1. Santa Margherita Ligure, Italy. 577-578.

Borenzstein, E. und Montiel, P. (1991): Savings, Investment, and Growth. IMF Working Paper, No. 91/61. Washington D.C.

Borenzstein, E. und Montiel, P. (1992): Wann wird Osteuropa zum Westen aufschließen? Finanzierung & Entwicklung 29, 21 ff.

Bouwman, A. F. (Hrsg.) (1989): Soils and the Greenhouse Effect. Chichester: John Wiley & Sons.

Broecker, W. S. (1991): Keeping Global Change Honest. Global Biogeochemical Cycles 5 (3), 191-192.

Brühl, C. und Crutzen, P. J. (1989): On the Disproportionate Role of Tropospheric Ozone as a Filter Against Solar UV-B Radiation. Geophysical Research Letters 16 (7), 703-706.

Burdick, B. (1991): Klimaänderung und Landwirtschaft. Ökologie und Landbau 77, 19 ff.

Changnon, S. A. (1992): Inadvertent Weather Modification in Urban Areas: Lessons for Global Climate Change. Bulletin American Meteorological Society 73 (5), 619-627.

Charlson, R. J., Schwartz, S. E., Hales, J. M., Cess, R. D., Coakley, J. A., Hansen, J. E. und Hofmann, D. J. (1992): Climate Forcing by Anthropogenic Aerosols. Science 255, 423-430.

Cicerone, R. J. (1988): How has the Atmospheric Concentration of CO Changed ? In: Rowland, F. S. und Isaksen, I. S. A. (Hrsg.): The Changing Atmosphere. Chichester: John Wiley & Sons, 49-61.

Ciriacy-Wantrup, S. V. (1968): Resource Conservation, Economics and Politics. Berkeley, Los Angeles: University of California Press.

Clark, C. (1960): The Conditions of Economic Progress. London.

Cline, W. R. (1992): The Economics of Global Warming. Washington D.C.

Cline, W. R. (1993): Der Bekämpfung des Treibhauseffektes eine faire Chance einräumen. Finanzierung & Entwicklung 30 (3), 3 ff.

Coastal Zone Management Subgroup (1992): Global Climate Change and the Rising Challenge of the Sea. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) No. 1. The Hague: Ministry of Transport, Public Works and Water Management.

Commission of the European Community (1992): Europeans and the Environment in 1992. Survey Conducted in the Context of the Eurobarometer 37.0. Brussels: Commission of the European Community.

Commoner, B. (1988): Rapid Population Growth and Environmental Stress. In: United Nations (Hrsg.): Consequences of Rapid Population Growth in Developing Countries. Proceedings of a United Nations Expert Group Meeting. New York.

Costanza, R. (1992): Ökologisch tragfähiges Wirtschaften: Investieren in natürliches Kapital. In: Goodland, R., Daly, H. E., El Serafy, S. und Droste, B. v. (Hrsg.): Nach dem Brundtland-Bericht: Umweltverträgliche wirtschaftliche Entwicklung. Bonn: 85 ff.

Crowson, B. (1988): Mineral Handbook 1988-89. New York: M. Stockton Press.

Crutzen, P. J. und Andreae, M. O. (1990): Biomass Burning in the Tropics: Impact on Atmospheric Chemistry and Biogeochemical Cycles. Science 250, 1669-1678.

Crutzen, P. J. und Zimmermann, P. (1991): The Changing Photochemistry of the Troposphere. Tellus 43 A-B, 136-151.

Czacainski, M. (1992): UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung - Inhalte, Tendenzen, Bewertung. Energiewirtschaftliche Tagesfragen 42 (7), 422-427.

Daly, H. E. (1973): Toward a Stady-State Economy. San Francisco.

Daly, H. E. (1977): Steady-State Economics. San Francisco.

Daly, H. E. (1992): Vom Wirtschaften in einer leeren Welt zum Wirtschaften in einer vollen Welt. In: Goodland, R., Daly, H. E., El Serafy, S. und Droste, B. v. (Hrsg.): Nach dem Brundtland-Bericht: Umweltverträgliche wirtschaftliche Entwicklung. Bonn. 15 ff.

Dannenbring, F. (1990): Flüchtlinge. Neue Herausforderung für die Außen- und Entwicklungspolitik. Dritte Welt Presse 7 (1), S. 3.

Dennis, M. L., Soderstrom, E. J., Koncinski, W. S., Jr. und Cavanaugh, B. (1990): Effective Dissemination of Energy-Related Information. Applying Social Psychology and Evaluation Research. The American Psychologist 45 (10), 1109-1117.

DGVN - Deutsche Gesellschaft für die Vereinten Nationen (1992a): Weltbevölkerungsbericht 1992. Die Welt im Gleichgewicht. Bonn: DGVN.

DGVN - Deutsche Gesellschaft für die Vereinten Nationen (1992b): Mega-Städte - Zeitbombe mit globalen Folgen? Dokumentationen, Informationen, Meinungen. Band 44. Bonn: DGVN.

Diekmann, A. und Preisendörfer, P. (1992): Persönliches Umweltverhalten. Diskrepanzen zwischen Anspruch und Wirklichkeit. Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie 44 (2), 226-251.

DIW - Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung und RWI - Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (1993): Umweltschutz und Industriestandort. Berichte des Umweltbundesamtes - 1/93. Berlin, Essen: Erich Schmidt, RWI.

Dopfer, K. (1992): Evolutionsökonomik in der Zukunft: Programmatik und Theorieentwicklungen. In: Hanusch, H. und Recktenwald, H. C. (Hrsg.): Ökonomische Wissenschaft in der Zukunft. Ansichten führender Ökonomen. Düsseldorf: 96 ff.

Dörner, D. (1989): Die Logik des Mißlingens. Strategisches Denken in komplexen Situationen. Reinbek: Rowohlt.

Douglas, M. und Wildavsky, A. (1982): Risk and Culture. An Essay on the Selection of Technological and Environmental Dangers. Berkeley: University of California Press.

Dowlatabadi, H. und Granger Morgan, M. (1993): Integrated Assessment of Climate Change. Science, 259, 1813-1932.

Dunwoody, S. und Peters, H. P. (1993): Massenmedien und Risikowahrnehmung. In: Bayerische Rück (Hrsg.): Risiko ist ein Konstrukt. Wahrnehmungen zur Risikowahrnehmung. Band 2. München: Knesebeck, 317-341.

Easterly, W. (1991): Wirtschaftspolitik und Wirtschaftswachstum. Finanzierung & Entwicklung, 28, 10 ff.

Eickhof, N. (1992): Ordnungspolitische Ausnahmeregelungen. Zur normativen Theorie staatlicher Regulierungen und wettbewerbspolitischer Bereichsausnahmen. Diskussionsbeiträge, Band 20. Bochum.

El-Shagi, E.-S. (1992): Volkswirtschaft und Umwelt IV: Umweltschutz und Außenhandel. In: Dreyhaupt, F. J. (Hrsg.): Umwelt-Handwörterbuch. Bonn. 111 ff.

Emanuel, K. A. (1988): The Maximum Intensity of Hurricanes. Journal of Atmospheric Sciences 45, 1143-1155.

Engardt, M. und Rodhe, H. (1993): A Comparison between Patterns of Temperature and Sulfate Aerosol Pollution. Geophysics Research Letters 20, 117-120.

Enquete-Kommission des 11. Deutschen Bundestages "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" (Hrsg.) (1990): Schutz der Erdatmosphäre - Eine internationale Herausforderung. Band 1. (3., erweiterte Aufl.). Bonn, Karlsruhe: Economica, C.F. Müller.

Enquete-Kommission des 11. Deutschen Bundestages "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" (Hrsg.) (1990): Schutz der Tropenwälder. Eine internationale Schwerpunktaufgabe. Band 2. Bonn, Karlsruhe: Economica, C.F. Müller.

Enquete-Kommission des 12. Deutschen Bundestages "Schutz der Erdatmosphäre" (Hrsg.) (1992): Klimaänderung gefährdet globale Entwicklung. Zukunft sichern - jetzt handeln. Bonn, Karlsruhe: Economica, C.F. Müller.

Environmental Protection Agency (EPA) - Office of Research and Development (1992): Pollution Prevention Research Branch. Current Projects. Cincinnati: EPA.

Ewers, H.-J. (1991): Dem Verkehrsinfarkt vorbeugen - Zu einer auch ökologisch erträglicheren Alternative der Verkehrspolitik unter veränderten Rahmenbedingungen. Vorträge und Studien aus dem Institut für Verkehrswissenschaft an der Universität Münster. Band 26. Göttingen.

Fabian, P. (1992): Atmosphäre und Umwelt. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (1982): World Soil Charta. Rome: FAO.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (1984): Fertilizer Yearbook. Rome: FAO.

Festinger, L. (1978): Theorie der kognitiven Dissonanz. Bern: Huber.

Fietkau, H.-J. und Kessel, H., (Hrsg.) (1981): Umweltlernen: Veränderungsmöglichkeiten des Umweltbewußtseins. Modelle - Erfahrungen. Band 18. Königstein/Ts.: Hain.

Fischhoff, B. (1990): Psychology and Public Policy. Tool or Toolmaker. The American Psychologist 45 (5), 647-653.

Fischhoff, B. und Furby, L. (1983): Psychological Dimensions of Climatic Change. In: Chen, R. S. und Boulding, E. (Hrsg.): Social Science Research and Climate Change. An Interdisciplinary Appraisal. Dordrecht: Reidel, 180-207.

Fisher, A. G. B. (1939): Production, Primary, Secondary, Tertiary. The Economic Journal 15, 739-741.

Flohn, H., Kapala, H., Knoche, H. R. und Mäckel, H. (1992): Water Vapor as an Amplifier of the Greenhouse Effect: New Aspects. Meteorologische Zeitschrift 1 (1).

Forrester, J. W. (1971): World Dynamics. Cambridge, Ma.

Fourastié, J. (1971): Die große Hoffnung des zwanzigsten Jahrhunderts. Köln.

Frank, H.-J. und Münch, R. (1993): Straßenbenutzungspreise gegen den Verkehrsinfarkt. In: Frank, H.-J. und Walter, N. (Hrsg.): Strategien gegen den Verkehrsinfarkt. Stuttgart. 369-381.

Galloway, J. N., Likens, G. E., Keene, W. C. und Miller, J. M. (1982): The Composition of Precipitation in Remote Areas of the World. Journal of Geophysical Research 87, 9881-8786.

Georgescu-Roegen, N. (1971): The Entropy Law and the Economic Progress. London.

Georgescu-Roegen, N. (1976): Energy and Economic Myths: Institutional and Analytical Economic Essays. New York.

GITEC (1992): Wasser als knappe lebensnotwendige Ressource. Statusbericht - Entwurf. Düsseldorf: GITEC.

Gleick, P. (1992): Water and Conflict. International Security Studies Program - Peace and Conflict Studies Program. Cambridge, Ma.: American Academy of Arts and Science.

Goodland, R. (1992): Die These: Die Welt stößt an Grenzen. Das derzeitige Wachstum in der Weltwirtschaft ist nicht mehr verkraftbar. In: Goodland, R., Daly, H. E., El Serafy, S. und Droste, B. v. (Hrsg.): Nach dem Brundtland-Bericht: Umweltverträgliche wirtschaftliche Entwicklung. Bonn: 9 ff.

Goudriaan, J. (1990): Atmospheric CO_2, Global Carbon Fluxes in the Biosphere. In: Rabbinge, R. et al. (Hrsg.): Theoretical Production Ecology: Reflections and Prospects. Band 34. Simulation Monograph. Wageningen, The Netherlands: Pudoc.

Granier, C. und Brasseur, G. (1992): Impact of Heterogeneous Chemistry on Modell Predictions of Ozone Changes. Journal of Geophysical Research 97 (D16), 18.015-18.033.

Graskamp, R., Halstrick-Schwenk, M., Janßen-Timmen, R., Löbbe, K. und Wenke, M. (1992): Umweltschutz, Strukturwandel und Wirtschaftswachstum. Untersuchungen des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung. Essen: RWI.

Graßl, H. (1988): What Are the Radiative and Climatic Consequences of the Changing Concentration of Atmospheric Aerosol Particles ? In: Rowland, F. S. und Isaksen, I. S. A. (Hrsg.): The Changing Atmosphere. Chichester: John Wiley & Sons, 187-199.

Graumann, C. F. und Kruse, L. (1990): The Environment: Social Construction and Psychological Problems. In: Himmelweit, H. T. und Gaskell, G. (Hrsg.): Societal Psychology. Newbury Park: Sage, 212-229.

Gronych, R. (1980): Allokationseffekte und Außenhandelswirkungen der Umweltpolitik. Tübingen.

Guppy, N. (1984): Tropical Deforestation: A Global View. Foreign Affairs 62, 928 ff.

Haeberli, W. (1992): Accelerated Glacier and Permafrost Changes in the Alps. International Conference on Mountain Environments in Changing Climates, Davos, Schweiz.

Hafez Fahmy Aly, M. (1989): Chancen und Entwicklungsmöglichkeiten des kombinierten Verkehrs in der Dritten Welt - dargestellt am Beispiel Ägyptens. Wissenschaftliche Arbeiten. Band 34. Hannover.

Haken, H. (1978): Synergetics. An Introduction. Berlin.

Haken, H. (1988): Information and Selforganization. A Macroscopic Approach to Complex Systems. Berlin.

Hampicke, U. (1991): Naturschutz-Ökonomie. Stuttgart: Ulmer.

Hampicke, U. (1992): Kosten und Wertschätzung des Arten- und Biotopschutzes. Zeitschrift für Angewandte Umweltforschung (Sonderheft 3 Wirtschaftlichkeit des Umweltschutzes) 47 ff.

Hampicke, U. (1992): Ökologische Ökonomie. Individuum und Natur in der Neoklassik - Natur in der ökonomischen Theorie. Band 4. Opladen: Westdeutscher Verlag.

Hanemann, W. M. (1992): Die Wirtschaftswissenschaften und die Erhaltung der biologischen Vielfalt. In: Wilson, E. O. (Hrsg.): Ende der biologischen Vielfalt? Heidelberg, Berlin, New York: Spektrum Akademischer Verlag. 215-221.

Hao, W. M., Liu, M. H. und Crutzen, P. J. (1990): Estimates of Annual and Regional Releases of CO_2 and other Trace Gases to the Atmosphere from Fires in the Tropics, Based on the FAO Statistics for the Period 1975 - 1980. In: Goldammer, J. G. (Hrsg.): Fire in the Tropical Biota: Ecosystem Processes and Global Challenges. New York: Springer. 440-462.

Harborth, H.-J. (1992): Sustainable Development - dauerhafte Entwicklung. In: Nohlen, D. und Nuscheler, F. (Hrsg.): Handbuch der Dritten Welt. Bonn: 231 ff.

Hardin, G. R. (1968): The Tragedy of the Commons. Science 162, 1243-1248.

Hartje, V. (1992): Volkswirtschaft und Umwelt III: Umweltschutz und Wachstum. In: Dreyhaupt, F. J. (Hrsg.): Umwelt-Handwörterbuch. Berlin. 104 ff.

Hauser, S. (1992): "Reinlichkeit, Ordnung und Schönheit" - Zur Diskussion über Kanalisation im 19. Jahrhundert. Die Alte Stadt 19 (4), 229-312.

Hayek, F.-A. von (1975): The Pretence of Knowledge. In: The Nobel Foundation (Hrsg.): Les Prix Nobel en 1974. Stockholm.

Hayek, F.-A. von (1981): Recht, Gesetzgebung und Freiheit, Bd. 1: Regeln und Ordnung. München.

Heister, J. und Michaelis, H. (1990): Umweltpolitik mit handelbaren Emissionsrechten; Möglichkeiten zur Verringerung der Kohlendioxid- und Stickoxidemissionen. Kieler Studien, Band 237. Tübingen.

Heister, J., Klepper, G. und Stähler, F. (1992): Strategien globaler Umweltpolitik - die UNCED-Konferenz aus ökonomischer Sicht. Zeitschrift für Angewandte Umweltforschung 5 (4), 455-465.

Helbling, E. W., Vallafane, V., Ferrario, M. und Holm-Hansen, O. (1992): Impact of Natural Ultraviolet Radiation on Rates of Photosynthesis and on Specific Marine Phytoplankton Species. Marine Ecology Progress Series 80, 89-100.

Hewitt, D. P. (1991): Was bestimmt die Militärausgaben? Finanzierung & Entwicklung 28, 22 ff.

Heyer, E. (1972): Witterung und Klima. Eine allgemeine Klimatologie. (8. Aufl.). Leipzig: BSB Teubner.

Hofrichter, J. und Reif, K. (1990): Evolution of Environmental Attitudes in the European Community. Scandinavian Political Studies 13 (2), 119-146.

Höh, H. (1991): Ansätze zur inhaltlichen Abgrenzung des Umweltbegriffs in einer umweltökonomischen Gesamtrechnung. In: Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Wege zu einer umweltökonomischen Gesamtrechnung. Stuttgart.

Hormuth, S. E. und Katzenstein, H. (1990): Psychologische Ansätze zur Müllvermeidung und Müllsortierung. Forschungsbericht für das Ministerium für Umwelt, Baden-Württemberg. Heidelberg: Psychologisches Institut der Universität.

Hübler, K.-H. (1991): Volkswirtschaftliche Verluste durch Bodenbelastung in der Bundesrepublik Deutschland. Berichte des Umweltbundesamtes - 10/91. Berlin: Erich Schmidt.

Hughes, G. (1992): Verbesserung der Umwelt in Osteuropa. Finanzierung & Entwicklung 29, 16 ff.

Hulm, P. (1989): A Climate of Crisis: Global Warming and the Island South Pacific. UNEP RSM, Band 28. No. 1. Port Moresby, Papua New Guinea: The Association of South Pacific Environmental Institutions.

Hutter, K. (1988): Dynamik umweltrelevanter Systeme. Berlin.

Hutter, K. (1988): Umweltkrise. Eine Herausforderung an die Forschung. Berlin: Springer.

IGBP - International Geosphere-Biosphere Programme (1990): The International Geosphere-Biosphere Programme: A Study of Global

Change - The Initial Core Projects. Report No. 12. International Council of Scientific Unions Global Change, Stockholm, Sweden.

IMF - International Monetary Fund World Economic Outlook. Washington, D.C.

Inglehart, R. (1977): The Silent Revolution. Changing Values and Political Styles Among Western Publics. Princeton, N. J.: Princeton University Press.

Inglehart, R. (1989): Kultureller Umbruch. Wertwandel in der westlichen Welt. Frankfurt/Main: Campus.

Inglehart, R. (1991): Changing Human Goals and Values: A Proposal for a Study of Global Change. In: Pawlik, K. (Hrsg.): Perception and Assessment of Global Environmental Change (PAGEC): Report 1. Band 4. ISSC/HDP. Barcelona: HDP.

Institut für Praxisorientierte Sozialforschung (ipos) (1992): Einstellungen zu Fragen des Umweltschutzes 1992. Ergebnisse jeweils einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage in den alten und neuen Bundesländern - 804/805, Mannheim: ipos.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (1990): Climate Change. The IPCC Scientific Assessment. Cambridge: Cambridge University Press.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change Working Group II (1991): Potential Impacts of Climate Change. WMO -World Metereological Organization und UNEP - United Nations Environment Programme

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (1992): Climate Change 1992. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge: Cambridge University Press.

Isard, W. (1962): Methods of Regional Analysis: An Introduction to Regional Science. Cambridge, Ma.

IWF - Internationaler Währungsfond - Jahresberichte. Washington, D.C.

Jacobson, H. K. und Price, M. F. (1990): A Framework for Research on the Human Dimensions of Global Environmental Change. International Social Science Council HDP Report, Band 1. Barcelona: HDP.

Johnson, B. B. und Covello, V. T., (Hrsg.) (1987): The Social and Cultural Construction of Risk. Essays on Risk Selection and Perception. Dordrecht: Reidel.

Jones, P. D., Wigley, T. M. L. und Wright, P. B. (1986): Global Temperature Variations Between 1861 and 1984. Nature 322, 430-434.

Jungermann, H., Rohrmann, B. und Wiedemann, P. M., (Hrsg.) (1991): Risikokontroversen. Konzepte, Konflikte, Kommunikation. Berlin: Springer.

Junkernheinrich, M. und Klemmer, P. (1992): Ökologie und Wirtschaftswachstum. Zu den ökologischen Folgekosten des Wirtschaftswachstums. Zeitschrift für Angewandte Umweltforschung (Sonderheft 2 - Ökologische Nutzen und Kosten des Wirtschaftswachstums), 7 ff.

Kafka, P. (1989): Das Grundgesetz vom Aufstieg. Wien, München: Hauser.

Kahneman, D., Slovic, P. und Tversky, A. (1982): Judgement under Uncertainty: Heuristics and Biases. Cambridge: Cambridge University Press.

Karaosmanoglu, A. (1991): Herausforderungen eines dauerhaften und gerechten Wachstums in Asien. Finanzierung & Entwicklung 28, 34 ff.

Karentz, D. (1991): Ecological Considerations of Antarctic Ozone Depletion. Antarctic Science 3 (1), 3-11.

Karger, C., Schütz, H. und Wiedemann, P. M. (1992): Akzeptanz von Klimaschutzmaßnahmen in der Bundesrepublik Deutschland. Umweltforschungszentrum Jülich Programmgruppe Mensch, Umwelt, Technik (MUT) - Arbeiten zur Risikokommunikation, Band 30. Jülich: KFA.

Keller, U. (1990): Umwelt-Exodus. Massenflucht vor kaputter Umwelt - Hauptlast tragen Entwicklungsländer. Dritte Welt Presse 7 (1), 4-5.

Kempton, W. (1991): Lay Perspectives on Global Environmental Change. Global Environmental Change 1, 183-208.

Kempton, W. und Montgomery, L. (1982): Folk Quantification of Energy. Energy - The International Journal 7, 817-827.

Kempton, W., Darley, J. M. und Stern, P. C. (1992): Psychological Research for the New Energy Problems. Strategies and Opportunities. The American Psychologist 47 (10), 1213-1223.

Kennedy, P. (1993): In Vorbereitung auf das 21. Jahrhundert. Frankfurt.

Khalil, M. A. K. und Rasmussen, R. A. (1991): Carbon Monoxide in the Earth's Atmosphere: Indications of a Global Increase. Nature 332, 242-244.

Kimball, B. A. (1990): Impact of Carbon Dioxide, Trace Gases and Climate Change on Global Agriculture. ASA (Hrsg.): ASA Special Publication No. 53. ASA.

Klemmer, P. (1987): Umweltinformationen aus dem Wirtschafts- und Sozialbereich. In: Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Statistische Umweltberichterstattung. Schriftenreihe Forum der Bundesstatistik. Stuttgart, Mainz. 79 ff.

Klemmer, P. (1991): Harmonisierung der Umweltpolitik in der EG. Wirtschaftsdienst 71 (5), 262-268.

Klemmer, P. (1991): Wirtschaftliche Determinanten des Verkehrsgeschehens. In: Deutsche Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft (Hrsg.): Regionale Verkehrsentwicklung als Element der Wirtschaftspolitik - am Beispiel Sachsens. Bergisch-Gladbach.

Klemmer, P. (1992): Versöhnung von Ökonomie und Ökologie - aus der Sicht der Wirtschaftswissenschaft. In: Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi) (Hrsg.): Versöhnung von Ökonomie und Ökologie, Symposium des Bundesministers für Wirtschaft am 20. Februar 1992. Bonn.

Klemmer, P. (1993): Die deutsche Wiedervereinigung und die europäische Integration als Herausforderung der Verkehrspolitik. RWI-Papiere, erscheint demnächst.

Klepper, G. (1992): The Political Economy of Trade and the Environment in Western Europe. In: Low, P. (Hrsg.): International Trade and the Environment. Washington D.C.

Klockow, S. und Matthes, U. (1990): Volkswirtschaftliche Kosten durch Beeinträchtigung des Freizeit- und Erholungswertes aufgrund der Umweltverschmutzung in der Bundesrepublik. Basel, Berlin: Prognos AG.

Koscis, G. (1988): Wasser nutzen, verbrauchen oder verschwenden? Alternative Konzepte. Karlsruhe: C. F. Müller.

Kraemer, R. A. (1990): Die getrennte Versorgung der Haushalte mit Trinkwasser und Haushaltswasser. Berlin: Technische Universität.

Kruse, L. (1989): Le Waldsterben. Zur Kulturspezifität der Wahrnehmung ökologischer Risiken. In: Fernuniversität - Gesamthochschule Hagen (Hrsg.): Dies Academicus 1988. Vorträge. Band 12. Der Rektor der Fernuniversität - Gesamthochschule Hagen. Hagen: Selbstverlag, 35-48.

Kulessa, M. E. (1992): Freihandel und Umweltschutz - Ist das GATT reformbedürftig? Wirtschaftsdienst 72, 299-307.

KVR - Kommunalverband Ruhrgebiet (1989): Regionalinformation Ruhrgebiet - Bevölkerungsentwicklung im Ruhrgebiet. Essen.

la Rivière, J. W. M. (1991): Cooperation Between Natural and Social Scientists in Global Change Research. Imperatives, Realities, Opportunities. International Social Science Journal 43 (4), 619-627.

Labitzke, K. und Loon, H. v. (1991): Some Complications in Determining Trends in the Stratosphere. Advanced Space Research 11 (3), 21-30.

Labitzke, K. und McCormick, M. P. (1992): Stratospheric Temperature Increase Due to Pinatubo Aerosol. Geophysical Research Letters 19 (2), 207-210.

Landell-Mills, P., Agarwala, R. und Please, S. (1989): Schwarzafrika: Von der Krise zu nachhaltigem Wirtschaftswachstum. Finanzierung & Entwicklung 26 (4), 26 ff.

Lantermann, E.-D., Döring-Seipel, E. und Schima, P. (1992): Ravenhorst. Gefühle, Werte und Unbestimmtheit im Umgang mit einem ökologischen Scenario. München: Quintessenz.

Lehmann, J. und Gerds, I. (1991): Merkmale von Umweltproblemen als Auslöser ökologischen Handelns. In: Eulefeld, G., Bolscho, D. und Seybold, H. (Hrsg.): Umweltbewußtsein und Umwelterziehung. Ansätze und Ergebnisse empirischer Forschung. Band 129. Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN), 23-35.

Levine, J. S., Rinsland, C. P. und Tennille, G. M. (1985): Photochemistry of Methane and Carbon Monoxide in the Troposphere in 1950 and 1985. Nature 318, 254-257.

Linden, E. (1993): Megacities. Time Magazine vom 11.01.1993, 141, 24-34.

Lipsey, M. W. (1977): Attitudes Toward the Environment and Pollution. In: Oskamp, S. (Hrsg.): Attitudes and Opinions. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 360-379.

Longhurst, A. R. und Harrison, W. G. (1989): The Biological Pump: Profiles of Plankton Production and Consumption in the Upper Ocean. Progress in Oceanography 22, 47-123.

Lösch, A. (1943): Die räumliche Ordnung der Wirtschaft. (3., unveränderte Aufl.). Stuttgart: G. Fischer.

Low, P. und Yeats, A. (1992): Do "Dirty" Industries Migrate? In: Low, P. (Hrsg.): International Trade and the Environment. Washington D.C.

Lu, Y. und Khalil, M. A. K. (1992): Model Calculations of Night-Time Atmospheric OH. Tellus 44 B, 106-113.

Masuhr, K. P., Wolff, H. und Keppler, J. (1992): Identifizierung und Internalisierung externer Kosten der Energieversorgung. Basel: Prognos AG.

McNeely, J. A. (1988): Economics and Biological Diversity: Developing and Using Economic Incentives to Conserve Biological Resources. Gland: International Union For Conservation of Nature and Natural Resources.

Meadows, D. L. (1972): The Limits to Growth. New York.

Meadows, D. L. (1974): Die Grenzen des Wachstums. Reinbek: Rowohlt.

Meadows, D. M., Meadows, D. L. und Randers, J. (1992): Die neuen Grenzen des Wachstums. (2. Aufl.) Stuttgart: DVA.

Mertins, G. (1992): Urbanisierung, Metropolisierung und Megastädte. Ursachen der Stadt"explosion" in der Dritten Welt - Sozioökonomische und ökologische Problematik. In: Deutsche Gesellschaft für die Vereinten Nationen (DGVN) (Hrsg.): Mega-Städte - Zeitbombe mit globalen Folgen? Band 44. Bonn: DGVN. 7-31.

Meyer-Schwickerath, M. (1989): Anforderungen an die Ausgestaltung internationaler Transportsysteme zwischen Industrie- und Entwicklungsländern. In: Seidenfus, H.-S. (Hrsg.): Perspektiven des Weltverkehrs. Göttingen.

Mikolajewicz, U. und Maier-Reimer, E. (1990): Internal Secular Variability in an Ocean General Circulation Model. Climate Dynamics 4, 145-156.

Milavsky, J. R. (1991): The U.S. Public's Changing Perceptions of Environmental Change 1950 to 1990. In: Pawlik, K. (Hrsg.): Perception and Assessment of Global Environmental Change (PAGEC): Report 1. Band 4. ISSC/HDP. Barcelona: HDP.

Miller, D. L. R. und Mackenzie, F. T. (1988): Implications of Climate Change and Associated Sea-Level Rise for Atolls. 6th International Coral Reef Symposium, Australia, Band 3.

Miller, R. B. und Jacobson, H. K. (1992): Research on the Human Components of Global Change: Next Steps. Global Environmental Change 2, 170-182.

Milliman, J. D., Broadus, J. M. und Gable, F. (1989): Environmental and Economic Implications of Rising Sea Level and Subsiding Deltas: The Nile and Bengal Examples. Ambio 18, 340-345.

Milton, A.-R. (1990): Der asiatisch-pazifische Raum - ein neues Gravitationszentrum des Welthandels? RWI-Mitteilungen 41 (3), 231 ff.

Mittermeier, R. A. (1988): Primate Diversity and the Tropical Forest: Case Studies from Brazil and Madagascar and Importance of Megadiversity Countries. In: Wilson, E. O. und Peter, F. M. (Hrsg.): Biodiversity. Washington D.C.

Mittermeier, R. A. und Werner, T. B. (1990): Wealth of Plants and Animals Unites "Megadiversity" Countries. Tropicus 4 (1), 4 f.

Moscovici, S. (1981): On Social Representations. In: Forgas, J. P. (Hrsg.): Social Cognition: Perspectives on Everyday Understanding. New York: Academic Press, 181-209.

Moscovici, S. (1982): Versuch über die menschliche Geschichte der Natur. Frankfurt/Main: Suhrkamp.

Nelson, R. (1991): Die Nutzung von Trockengebieten. Finanzierung & Entwicklung 28 (1), 22 ff.

Neuman, K. (1986): Personal Values and Commitment to Energy Conservation. Environment and Behavior 18 (1), 53-74.

Nicolis, G. und Prigogine, I. (1977): Self-Organisation in Non-Equilibrium Systems. New York.

Nicolis, G. und Prigogine, I. (1989): Exploring Complexity. New York.

Nohlen, D. und Nuscheler, F. (1992a): "Ende der Dritten Welt"? In: Nohlen, D. und Nuscheler, F. (Hrsg.): Handbuch der Dritten Welt. Bonn: 14 ff.

Nohlen, D. und Nuscheler, F. (1992b): Was heißt Unterentwicklung? In: Nohlen, D. und Nuscheler, F. (Hrsg.): Handbuch der Dritten Welt. Bonn: 31 ff.

Norton, B. G. (1987): Why Preserve Natural Variety? Princeton, N.J.: Princeton University Press.

Norton, B. G. (1992): Waren, Annehmlichkeiten und Moral: Die Grenzen der Quantifizierung bei der Bewertung biologischer Vielfalt. In: Wilson, E. O. (Hrsg.): Ende der biologischen Vielfalt? Heidelberg, Berlin, New York: Spektrum Akademischer Verlag. 222-228.

Nothdurft, W. (1992): Müll Reden. Mikroanalytische Fallstudie einer Bürgerversammlung zum Thema "Müllverbrennung". Umweltforschungszentrum Jülich Programmgruppe Mensch, Umwelt, Technik (MUT) - Arbeiten zur Risikokommunikation, Band 32. Jülich: KFA.

Nsouli, S. M. (1989): Strukturanpassung in Schwarzafrika. Finanzierung & Entwicklung 26, 30 ff.

Nuscheler, F. (1992): Entwicklungspolitische Bilanz der 80er Jahre - Perspektiven für die 90er Jahre. In: Nohlen, D. und Nuscheler, F. (Hrsg.): Handbuch der Dritten Welt. Bonn: 156 ff.

Oldeman, L. R., Wakkeling, R. T. A. und Sombroek, W. G. (1991): World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation, Global Assessment of Soil Degradation. (2. Aufl.). ISRIC and UNEP.

Olson, M. (1968): Die Logik des kollektiven Handelns. Kollektivgüter und die Theorie der Gruppen. Tübingen: C. B. Mohr.

Osten-Sacken, A. (1992): Neuausrichtung der CGIAR. Von der Verhinderung von Hungersnöten zu einer dauerhaften Entwicklung. Finanzierung & Entwicklung 29, 26 ff.

Otterbein, K. (1991): Mega-Städte, Mega-Krisen. Die größten Städte sind in der Dritten Welt. Bald die halbe Menschheit in Städten. Dritte Welt Presse 8 (1), 1-2.

Paasche, E. (1988): Pelagic Primary Production in Nearshore Waters. In: Blackburn, R. H. und Sörensen, J. (Hrsg.): Nitrogen Cycling in Coastal Marine Environments. Band 33. Chichester: John Wiley & Sons, 33-57.

Pawlik, K. (1991): The Psychology of Global Environmental Change. Some Basic Data and an Agenda for Cooperative International Research. International Journal of Psychology 26 (5), 547-563.

Pearce, D. W. (1991): Blueprint 2, Greening the World Economy. London: Earthscan.

Pearce, D., Barbier, E. und Markandya, A. (1990): Sustainable Development: Economics and Environment in the Third World. Brookfield.

Petersmann, E.-U. (1991): Trade Policy, Environmental Policy and the GATT. Außenwirtschaft 46, 197-221.

Pimental, D. et al. (1987): World Agriculture and Soil Erosion. BioScience 37 (4), 277 ff.

Platt, J. (1973): Social Traps. The American Psychologist 28, 641-651.

Platt, U., LeBras, G., Poulet, G., Burrows, J. P. und Moortgat, G. K. (1990): Peroxy Radicals from Night-Time Reaction of NO_3 with Organic Compounds. Nature 348, 147-149.

Post, W. M. und Mann, L. K. (1990): Charges in Soil Organic Carbon and Nitrogen as a Result of Cultivation. In: A. F. Bouwman (Hrsg.): Soils and the Greenhouse Effect. Chichester: John Wiley & Sons.

Post, W. M., Emanuel, W. R. und King, A. W. (1992): Soil Organic Matter Dynamics and the Global Carbon Cycle. In: Batjes, N. H. und Bridges,

E. M. (Hrsg.): World Inventory of Soil Emission Processes. Wageningen, The Netherlands: International Soil Reference Centre.

Postel, S. (1992): Last Oasis. Facing Water Scarcity. The Worldwatch Environmental Alert Series. New York, London: W. W. Norton.

Prigogine, I. (1980): From Being to Becoming: Time and `Complexity in Physical Science. San Francisco.

Prigogine, I. und Stengers, I. (1981): Dialog mit der Natur: Neue Wege naturwissenschaftlichen Denkens. München.

Prittwitz, V. von (1992): Symbolische Umweltpolitik. Eine Sachstands- und Literaturstudie unter besonderer Berücksichtigung des Klimaschutzes, der Kernenergie und Abfallpolitik. Umwelt Forschungszentrum Jülich. Programmgruppe Mensch, Umwelt, Technik (MUT) - Arbeiten zur Risikokommunikation, Band 34. Jülich: KFA.

Raghavan, C. (1990): Recolonization: GATT, the Uruguay Round and the Third World. London.

Randall, A. (1992): Was sagen die Wirtschaftswissenschaftler über den Wert der biologischen Vielfalt? In: Wilson, E. O. (Hrsg.): Ende der biologischen Vielfalt? Heidelberg, Berlin, New York: Spektrum Akademischer Verlag. 240-247.

Repetto, R. (1989): Economic Incentives for Sustainable Production. In: Schramm, G. und Warford, J. J. (Hrsg.): Environmental Management and Economic Development. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 69-86.

Revelle, R. (1976): The Resources Available for Agriculture. Scientific American 135, 165 ff.

Roqueplo, P. (1986): Der saure Regen: Ein "Unfall in Zeitlupe". Soziale Welt 37 (4), 402-426.

Rotmans, J. (1990): IMAGE: An Integrated Model to Assess the Greenhouse Effect. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.

Ruitenbeck, H. J. (1992): The Rainforest Supply Price: A Tool For Evaluating Rainforest Conservation Expenditures. Ecological Economics 6 (1), 57-78.

RWI - Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (1993): Globale Klimaveränderungen. Essen: RWI.

RWI - Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (1993): Globale Klimaveränderungen. Essen: RWI.

Sachs, W. (1989): Zur Archäologie der Entwicklungsidee. epd-Entwicklungspolitik (10), 24 ff.

Salvat, B. (1992): Coral Reefs - a Challenging Ecosystem for Human Societies. Global Environmental Change 2 (1), 12-18.

Sarmiento, J. L. (1991): Oceanic Uptake of Anthropogenic CO_2: the Major Uncertainties. Global Biogeochemical Cycles 5 (4), 309-313.

Scharpenseel, H. W., Schomaker, M. und Ayoub, A. (1990): Soils on a Warmer Earth. Development in Soil Science. Band 20. Amsterdam: Elsevier.

Schelling, T. (1992): Some Economics of Global Warming. The American Economic Review 82, 1 ff.

Schenk, K.-E. (1992): Die neue Institutionenökonomie - Ein Überblick über wichtige Elemente und Probleme der Weiterentwicklung. Zeitschrift für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften 112 (3), 337 ff.

Scheube, J. (1993): Ökonomisch funktionale Gestaltung einer globalen Umweltpolitik am Beispiel der Tropenwälder. In: Prosi, G. und Watrin, C. (Hrsg.): Dynamik des Weltmarktes - Schlankheitskur für den Staat. Köln. 138 ff.

Schneider, G. et al. (1990): 1992 - The Environmental Dimension. Task Force Report on the Environment and The Internal Market. Bonn: Economica.

Schteingart, M. (1991): Wassernot und verpestete Luft, Umweltprobleme in Mexico-City. Dritte Welt Presse 8 (1), 2 u. 7.

Schua, L. und Schua, R. (1981): Wasser, Lebenselement und Umwelt. Orbis Academicus, Sonderbände 2 und 4. München: Alber.

Schulz, J. (1988): Die Ökozonen der Erde. UTB Band 1514. Stuttgart: Ulmer.

Schürmann, H. J. (1992): Tauschgeschäfte mit ökologischer Schadensbegrenzung. Handelsblatt vom 5.6.1992.

Schuster, F. (1992): Starker Rückgang der Umweltbesorgnis in Ostdeutschland. Informationsdienst Soziale Indikatoren 8, 1-5.

Scotto, J., Cotton, G., Urbach, F., Berger, D. und Fears, T. (1988): Biologically Effective Ultraviolet Radiation: Surface Measurements in the United States, 1974 to 1985. Science 239, 762-764.

Seifritz, W. (1993): Der Treibhauseffekt. Technische Maßnahmen zur CO_2-Entsorgung. München, Wien.

Seiler, W. und Crutzen, P. J. (1980): Estimates of the Gross and Natural Flux of Carbon Between the Biosphere and the Atmosphere from Biomass Burning. Climate Change 2, 207-247.

Siebert, H. (1974): Environmental Protection and International Specialization. Weltwirtschaftliches Archiv 110, 494-508.

Siebert, H. (1991): Außenwirtschaft. (5. Aufl.) Stuttgart.

Slovic, P. (1987): Perception of Risk. Science 236, 280-285.

Smith, R. C., Prézelin, B. B., Baker, K. S., Bidigare, R. R., Boucher, N. P., Coley, T., Karentz, D., MacIntyre, S., Matlick, H. A., Menzies, D., Ondrusek, M., Wan, Z. und Waters, K. J. (1992): Ozone Depletion: Ultraviolet Radiation and Phytoplankton Biology in Antarctic Waters. Science 255, 952-959.

Smith, S. V. und Buddemeier, R. W. (1992): Global Change and Coral Reef Ecosystems. Annual Review of Ecological Systems 23, 89-119.

Smith, T. M., Weishampel, J. F., Shugart, H. H. und Bonan, G. B. (1992): The Response of Terrestrial C storage to Climate Change: Modeling C Dynamics at Varying Temporal and Spatial Scales. Water, Air, and Soil Pollution 64, 307-326.

Soliman, M. S. (1991): Die Wirkungsweise von Maßnahmen zur Beeinflussung des modal-splits in Entwicklungsländern, dargestellt am Beispiel des Personenverkehrs in Ägypten. Wissenschaftliche Arbeiten. Band 36. Hannover.

Sombroek, W. G. (1990, At Global Change, Do Soils Matter? Wageningen, The Netherlands: ISRIC.

South Commission (1990): The Challenge to the South. New York.

Southward, A. J., Boalch, G. T. und Maddock, L. (1988): Fluctuations in the Herring and Pilchard Fisheries of Devon and Cornwall Linked to Change in Climate Since the 16th Century. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 68, 423-445.

Spada, H. und Ernst, A. M. (1992): Wissen, Ziele und Verhalten in einem ökologisch-sozialen Dilemma. In: Pawlik, K. und Stapf, K. H. (Hrsg.): Umwelt und Handeln. Bern: Huber, 83-106.

SRU - Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (1978): Umweltgutachten. Stuttgart, Mainz.

SRU - Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (1985): Umweltprobleme der Landwirtschaft - Sondergutachten März 1985. Stuttgart, Mainz.

SRU - Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (1987): Umweltgutachten. Stuttgart, Mainz.

Stadtfeld, R. (1986): Wasserverbrauch der Haushalte. gwf - Wasser - Abwasser 127, 159-166.

Stähler, F. (1992): The International Management of Biodiversity. Kiel Working Paper No. 529. Kiel: The Kiel Institute of World Economics.

Statistisches Bundesamt (1991): Konzeption für eine umweltökonomische Gesamtrechnung. (Hrsg.): Umweltpolitik, Information des Bundesumweltministeriums, Bonn: Selbstverlag.

Statistisches Bundesamt (1992): Statistisches Jahrbuch 1992 für das Ausland. Wiesbaden: Metzler & Poeschel.

Stern, P. C. (1992): Psychological Dimensions of Global Environmental Change. Annual Review of Psychology 43, 269-302.

Stern, P. C. (1992): What Psychology Knows About Energy Conservation. The American Psychologist 47 (10), 1224-1232.

Stern, P. C. und Aronson, E., (Hrsg.) (1984): Energy Use: The Human Dimension. Report of the National Research Committee on the Behavioral and Social Aspects of Energy Consumption and Production. New York: Freeman.

Stern, P. C. und Gardner, G. T. (1981): Psychological Research and Energy Policy. The American Psychologist 36 (4), 329-342.

Stern, P. C. und Oskamp, S. (1987): Managing Scarce Environmental Resources. In: Stokols, D. und Altman, I. (Hrsg.): Handbook of Environmental Psychology. Band 2. New York: Wiley, 1043-1088.

Stern, P. C., Young, O. R. und Druckman, D. (1992): Global Environmental Change. Understanding the Human Dimensions. Washington, D.C.: National Academy Press.

Stiftung Entwicklung und Frieden (1991): Die Herausforderung des Südens. Der Bericht der Süd-Kommission. Über die Eigenverantwortung der Dritten Welt für dauerhafte Entwicklung. EINE Welt. Saarbrücken: Breitenbach.

Stiftung Entwicklung und Frieden (1991): Globale Trends. Daten zur Weltentwicklung. Bonn: Selbstverlag.

Stocker, T. R. und Wright, D. G. (1991): Rapid Transitions of the Ocean's Deep Circulation Induced by Changes in Surface Water Fluxes. Nature 351, 729-732.

Stolarski, R., Bojkov, R., Bishop, L., Zerefos, C., Staehelin, J. und Zawodny, J. (1992): Measured Trends in Stratospheric Ozone. Science 256, 342-349.

Stroebe, W., Hewstone, M., Codol, J.-P. und Stephenson, G. M., (Hrsg.) (1990): Sozialpsychologie. Eine Einführung. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.

Stucken, R. (1966): Der "circulus viciosus" der Armut in Entwicklungsländern. In: Besters, H. und Boesch, E. E. (Hrsg.): Entwicklungspolitik. Stuttgart. 53 ff.

Summers, L. (1992): Herausforderungen für die Entwicklungsländerforschung. Finanzierung & Entwicklung 29, 2 ff.

Swanson, T. M. (1991): Conserving Biological Diversity. In: Pearce, D. W. (Hrsg.): Blueprint 2, Greening the World Economy. London: Earthscan, 181-208.

Swanson, T. M. (1992): Economics of a Biodiversity Convention. Ambio 21 (3), 250-257.

Tans, P. P., Fung, I. Y. und Takahashi, T. (1990): Observational Constraints on the Global Atmospheric CO_2 Budget. Science 247, 1431-1438.

Tevini, M. (1992): Erhöhte UV-B-Strahlung: Ein Risiko für Pflanzen!? Global Change Prisma 3 (4), 4-6.

Thomas, V. (1991): Lehren aus der Wirtschaftsentwicklung. Finanzierung & Entwicklung, 28, 6 ff.

Tinbergen, J. (1962): Shaping the World Economy. Suggestions for an International Economic Policy. New York.

Tinbergen, J. und Hueting, R. (1992): Bruttosozialprodukt und Marktpreise. Falsche Signale, die die Umweltzerstörung kaschieren. In: Goodland, R., Daly, H., El Serafy, S. und Droste, B. v. (Hrsg.): Nach dem Brundtland-Bericht: Umweltverträgliche wirtschaftliche Entwicklung. Bonn: 51 ff.

Titus, J. G. und Barth, M. C. (1984): An Overview of the Causes and Effects of Sea Level Rise. In: Barth, M. C. und Titus, J. G. (Hrsg.): Greenhouse Effect and Sea Level Rise. A Challenge for This Generation. Van Nostrand Reinhold Company Inc., 1-51.

Touraine, A. (1971): The Postindustrial Society. New York.

Townsend, D. W. und Cammen, L. M. (1988): Potential Importance of the Timing of Spring Plankton Bloom to Benthic-Pelagic Coupling and Recruitment of Juvenile Demersal Fishes. Biological Oceanography 5, 215-229.

UNCED - United Nations Conference on Environment And Development (Hrsg.) (1992): Agenda 21. Agreements on Environment and Development. In: United Nations Conference on Environment and Development - Konferenzdokumente. Rio de Janeiro.

UNDP - United Nations Development Programme (Hrsg.) (1992): Human Development Report. New York, Oxford: Oxford University Press.

UNEP - United Nations Environmental Programme (1991): Environmental Data Report. (Hrsg.): Oxford: Blackwell Ltd.

UNESCO - United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (1990): Relative Sea-Level Change: a Critical Evaluation. UNESCO Reports in Marine Science, Band 54. France: UNESCO.

UNFPA - United Nations Fund for Population Activities (1991): Population Issues. Briefing Kit. 2. Jg, New York.

Vasseur, P., Gabric, C. und Harmelin-Vivien, M. (1988): State of Coral Reefs and Mangroves of the Tulear Region (SW Madagascar): Assessment of Human Activities and Suggestions for Management. 6th International Coral Reef Symposium, Australia, 1988, Band 2.

Vitousek, P. M., Ehrlich, P. R., Ehrlich, A. H. und Matson, P. A. (1986): Human Appropriation of the Products of Photosynthesis. BioScience Bd. 34 (6), 368 ff.

Volz, A. und Kley, D. (1989): Evaluation of the Montsouris Series of Ozone Measurements Made in the Nineteenth Century. Nature 332, 240-242.

Walter, I. (1975): International Economics of Pollution. London.

Walton, M. (1990): Bekämpfung der Armut: Erfahrungen und Aussichten. Finanzierung & Entwicklung 27, 2 ff.

Wasmer, M. (1990): Umweltprobleme aus der Sicht der Bevölkerung. Die subjektive Wahrnehmung allgemeiner und persönlicher Umweltbelastungen 1984 und 1988. In: Müller, W., Mohler, P. P., Erbslöh, B. und Wasmer, M. (Hrsg.): Blickpunkt Gesellschaft. Einstellungen und Verhalten der Bundesbürger. Opladen: Westdeutscher Verlag, 118-143.

Water Quality 2000 (Hrsg.) (1992): A National Water Agenda for the 21st Century. Final Report. Alexandria, Va.

Weisser, C. F., Jäger, U. und Spang, W. D. (1991): Chances and Limitations of Ex-Situ Conservation of Species and Genetic Diversity on a Global Perspective. Heidelberg: Institute for Environmental Research.

Wells, J. T. und Coleman, J. M. (1987): Wetland Loss and the Subdelta Life Cycle. Esturaine, Coastal and Shelf Science 25, 111-125.

Weltbank (1978 ff): Weltentwicklungsberichte. Washington, D.C.

Weltbank (1992a): Weltentwicklungsbericht 1992. Entwicklung und Umwelt. Kennzahlen der Weltentwicklung. (1. Aufl.). Bonn, Frankfurt, Wien: Uno, Knapp.

Weltbank (1992b): Global Economic Prospects and the Developing Countries. Washington D.C.

White, A. T. (1987): Coral Reefs - Valuable Resources of Southeast Asia. Manila, Philippines: International Center for Living Aquatic Resources Management.

Wigley, T. M. L. und Raper, S. C. B. (1992): Implications for Climate and Sea Level of Revised IPCC Emissions Scenarios. Nature 357, 293-300.

Wilson, E. O. (Hrsg.) (1992): Ende der biologischen Vielfalt? Der Verlust an Arten, Genen und Lebensräumen und die Chancen für eine Umkehr. Heidelberg, Berlin, New York: Spektrum Akademischer Verlag.

Wittenbrink, P. (1992): Wirkungen einer Internalisierung negativer externer Effekte des Straßengüterverkehrs auf die Güterverkehrsnachfrage. Beiträge aus dem Institut für Verkehrswissenschaft der Unversität Münster. Band 127. Göttingen.

WMO - World Meteorological Organisation (1993): Pressemeldung vom 21. 03. 1993.

WMO - World Meteorological Organization (1992): Scientific Assessment of Ozone Depletion 1991 - Global Ozone Research and Monitoring Project. Report No. 52. Geneva: WMO.

WMO - World Meteorological Organization (1992): WMO and the Ozone Issue. Report No. 788. Geneva: WMO.

Wöhlcke, M. (1992): Umweltflüchtlinge. Ursachen und Folgen. München: C. H. Beck.

World Commission on Environment and Development (WCED) (1987): Our Common Future (The Brundtland-Report). Oxford, New York: Oxford University Press.

World Media (1992): World Media Nr. 4. Das Wasser und sein Preis. Beilage zur Zeitung Die Tageszeitung vom 30.05.1992, Berlin.

World Resources Institute (1990): World Resources 1990-91. Oxford, New York: Oxford University Press.

World Resources Institute (1992): World Resources 1992-93. Toward Sustainable Development. Oxford, New York: Oxford University Press.

World Resources Institute, World Conservation Union und United Nations Environment Programme (1992): Global Biodiversity Strategy.

World Watch Institute (1992): State of the World 1992. Washington, D.C.

World Watch Institute (1993): State of the World 1993. New York, London: W. W. Norton.

Verzeichnis der Abbildungen

		Seite
Abbildung 1 :	Grunddiagramm Natur - Anthroposphäre	51
Abbildung 2 :	Zeitlicher Verlauf von Ozongehalt und Temperatur in der Stratosphäre	65
Abbildung 3 :	Entwicklung und Prognosen atmosphärischer Chlor-konzentrationen	66
Abbildung 4 :	Sektorale Anteile am Wasserverbrauch aufgeschlüsselt nach Erdteilen	111
Abbildung 5 :	Verknüpfung der Pedosphäre (Böden) mit den übrigen Natursphären	139
Abbildung 6 :	Vorräte an organischem Kohlenstoff in Böden	150
Abbildung 7 :	Einfluß des Klima- und Nutzungswandels auf Stofffreisetzungen in Böden	153
Abbildung 8 :	Bausteine der integrierten volkswirtschaftlichen Umweltgesamtrechnung für den Themenbereich Böden	169
Abbildung 9 :	Wirkung der Kombination von Photooxidantien und sauren Niederschlägen auf den Wald	179
Abbildung 10 :	Bevölkerungsprognosen bis zum Jahr 2150	218
Abbildung 11 :	Stadtklima	232
Abbildung 12 :	Zusammenhang zwischen Stadt-Umland Temperaturdifferenz und städtischer Bevölkerungszahl	232
Abbildung 13:	Entwicklung des PKW-Bestandes für verschiedene Ländergruppen	293
Abbildung 14:	Relative Anteile verschiedener menschlicher Aktivitäten am Treibhauseffekt	311
Abbildung 15 :	Schema möglicher Maßnahmen zur Bewältigung von globalen Umweltveränderungen	314
Abbildung 16 :	Globales Beziehungsgeflecht - Grundstruktur	345
Abbildung 17 :	Globales Beziehungsgeflecht - Trends der Umweltveränderungen	346
Abbildung 18:	Regeln für die Abbildung "Globales Beziehungsgeflecht"	347
Abbildung 19:	Globales Beziehungsgeflecht am Beispiel des Treibhauseffekts	348

Verzeichnis der Tabellen

		Seite
Tabelle 1 :	Eigenschaften der Treibhausgase in der Erdatmosphäre	58
Tabelle 2 :	Rangfolge einzelner Treibhausgase im natürlichen und anthropogen gestörten System	58
Tabelle 3:	Deutscher Zeitplan für den Ausstieg aus ozonschädigenden Verbindungen	71
Tabelle 4 :	Verminderung der Produktionsraten ozonzerstörender Chemikalien	72
Tabelle 5 :	Rückkopplungen des Wasser- und Kohlenstoffkreislaufs auf den anthropogenen Treibhauseffekt	91
Tabelle 6 :	Länder mit akuter Wasserknappheit	114
Tabelle 7 :	Hauptsächliche Arten der Wasserbelastung	117
Tabelle 8 :	Typologie der Ursachen und Auswirkungen von Wasserproblemen	117
Tabelle 9 :	Verknüpfungen des Wassers mit anderen Hauptbereichen des globalen Wandels	124
Tabelle 10 :	Prozesse der Bodendegradation	144
Tabelle 11 :	Von Menschen verursachte Bodendegradation	145
Tabelle 12 :	Aufteilung der eisfreien Landflächen	156
Tabelle 13 :	Verteilung des Ackerlands und der Ackerflächen pro Kopf der Bevölkerung	156
Tabelle 14 :	Ursachen der Bodendegradation	156
Tabelle 15 :	Bodenerosion in den Einzugsgebieten großer Flüsse	157
Tabelle 16 :	Kostenfaktoren der Bodenbelastung durch globale Umweltveränderungen	166
Tabelle 17 :	Ökozonen der Erde	174
Tabelle 18 :	Meeresgeographische Regionen	174
Tabelle 19 :	Größe und Entwicklung ausgewählter Megastädte	221
Tabelle 20 :	Entwicklung des Kraftfahrzeugbestandes an PKW und LKW	294

Der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen

Prof. Dr. Hartmut Graßl, Hamburg (Vorsitzender)
Prof. Dr. Horst Zimmermann, Marburg (Stellvertretender Vorsitzender)

Prof. Dr. Friedrich O. Beese, München
Prof. Dr. Gotthilf Hempel, Bremen
Prof. Dr. Lenelis Kruse-Graumann, Hagen
Prof. Dr. Paul Klemmer, Essen
Prof. Dr. Karin Labitzke, Berlin
Prof. Dr. Heidrun Mühle, Leipzig
Prof. Dr. Hans-Joachim Schellnhuber, Potsdam
Prof. Dr. Udo Ernst Simonis, Berlin
Prof. Dr. Hans-Willi Thoenes, Wuppertal
Prof. Dr. Paul Velsinger, Dortmund

Mitarbeiter der Beiratsmitglieder

Dipl.-Ing. Sebastian Büttner, Berlin
Dipl.-Volksw. Oliver Fromm, Marburg
Dipl. Psych. Gerhard Hartmuth, Hagen
Dipl.-Ing. Benno Kier, Essen
Dipl.-Met. Birgit Köbbert, Berlin
Dr. Gerhard Lammel, Hamburg
Dipl.-Volksw. Wiebke Lass, Marburg
Dipl.-Ing. Roger Lienenkamp, Dortmund
Dr. Heike Schmidt, Bremen
Dr. Detlef Sprinz, Potsdam
Dipl.-Ök. Rüdiger Wink, Bochum
Dr. Ingo Wöhler, Göttingen

Geschäftsstelle des Wissenschaftlichen Beirats, Bremerhaven

Priv.-Doz. Dr. Meinhard Schulz-Baldes (Geschäftsführer)

Dipl. Geoök. Holger Hoff
Ursula Liebert
Dr. Marina Müller
Dipl.-Volksw. Barbara Schäfer
Martina Schneider-Kremer, M.A.

Drucksache 168/94

GEMEINSAMER ERLAß ZUR ERRICHTUNG DES WISSENSCHAFTLICHEN BEIRATS GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN

§ 1

Zur periodischen Begutachtung der globalen Umweltveränderungen und ihrer Folgen und zur Erleichterung der Urteilsbildung bei allen umweltpolitisch verantwortlichen Instanzen sowie in der Öffentlichkeit wird ein wissenschaftlicher Beirat "Globale Umweltveränderungen" bei der Bundesregierung gebildet.

§ 2

(1) Der Beirat legt der Bundesregierung jährlich zum 1. Juni ein Gutachten vor, in dem zur Lage der globalen Umweltveränderungen und ihrer Folgen eine aktualisierte Situationsbeschreibung gegeben, Art und Umfang möglicher Veränderungen dargestellt und eine Analyse der neuesten Forschungsergebnisse vorgenommen werden. Darüberhinaus sollen Hinweise zur Vermeidung von Fehlentwicklungen und deren Beseitigung gegeben werden. Das Gutachten wird vom Beirat veröffentlicht.

(2) Der Beirat gibt während der Abfassung seiner Gutachten der Bundesregierung Gelegenheit, zu wesentlichen sich aus diesem Auftrag ergebenden Fragen Stellung zu nehmen.

(3) Die Bundesregierung kann den Beirat mit der Erstattung von Sondergutachten und Stellungnahmen beauftragen.

§ 3

(1) Der Beirat besteht aus bis zu zwölf Mitgliedern, die über besondere Kenntnisse und Erfahrung im Hinblick auf die Aufgaben des Beirats verfügen müssen.

(2) Die Mitglieder des Beirats werden gemeinsam von den federführenden Bundesminister für Forschung und Technologie und Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Einvernehmen mit den beteiligten Ressorts für die Dauer von vier Jahren berufen. Wiederberufung ist möglich.

(3) Die Mitglieder können jederzeit schriftlich ihr Ausscheiden aus dem Beirat erklären.

(4) Scheidet ein Mitglied vorzeitig aus, so wird ein neues Mitglied für die Dauer der Amtszeit des ausgeschiedenen Mitglieds berufen.

§ 4

(1) Der Beirat ist nur an den durch diesen Erlaß begründeten Auftrag gebunden und in seiner Tätigkeit unabhängig.

(2) Die Mitglieder des Beirats dürfen weder der Regierung noch einer gesetzgebenden Körperschaft des Bundes oder eines Landes noch dem öffentlichen Dienst des Bundes, eines Landes oder einer sonstigen juristischen Person des Öffentlichen Rechts, es sei denn als Hochschullehrer oder als Mitarbeiter eines wissenschaftlichen Instituts, angehören. Sie dürfen ferner nicht Repräsentant eines Wirtschaftsverbandes oder einer Organisation der Arbeitgeber oder Arbeitnehmer sein, oder zu diesen in einem ständigen Dienst- oder Geschäftbesorgungsverhältnis stehen. Sie dürfen auch nicht während des letzten Jahres vor der Berufung zum Mitglied des Beirats eine derartige Stellung innegehabt haben.

§ 5

(1) Der Beirat wählt in geheimer Wahl aus seiner Mitte einen Vorsitzenden und einen stellvertretenden Vorsitzenden für die Dauer von vier Jahren. Wiederwahl ist möglich.

(2) Der Beirat gibt sich eine Geschäftsordnung. Sie bedarf der Genehmigung der beiden federführenden Bundesministerien.

(3) Vertritt eine Minderheit bei der Abfassung der Gutachten zu einzelnen Fragen eine abweichende Auffassung, so hat sie die Möglichkeit, diese in den Gutachten zum Ausdruck zu bringen.

§ 6

Der Beirat wird bei der Durchführung seiner Arbeit von einer Geschäftsstelle unterstützt, die zunächst bei dem Alfred-Wegener-Institut (AWI) in Bremerhaven angesiedelt wird.

§ 7

Die Mitglieder des Beirats und die Angehörigen der Geschäftsstelle sind zur Verschwiegenheit über die Beratung und die vom Beirat als vertraulich bezeichneten Beratungsunterlagen verpflichtet. Die Pflicht zur Verschwiegenheit bezieht sich auch auf Informationen, die dem Beirat gegeben und als vertraulich bezeichnet werden.

§ 8

(1) Die Mitglieder des Beirats erhalten eine pauschale Entschädigung sowie Ersatz ihrer Reisekosten. Die Höhe der Entschädigung wird von den beiden federführenden Bundesministerien im Einvernehmen mit dem Bundesminister der Finanzen festgesetzt.

(2) Die Kosten des Beirats und seiner Geschäftsstelle tragen die beiden federführenden Bundesministerien anteilig je zur Hälfte.

Dr. Heinz Riesenhuber

Prof. Dr. Klaus Töpfer

- Anlage zum Mandat des Beirats -

Erläuterung zur Aufgabenstellung des Wissenschaftlichen Beirats gemäß § 2, Abs. 1

Zu den Aufgaben des Beirats gehören:

1. Zusammenfassende, kontinuierliche Berichterstattung von aktuellen und akuten Problemen im Bereich der globalen Umweltveränderungen und ihrer Folgen, z.B. auf den Gebieten Klimaveränderungen, Ozonabbau, Tropenwälder und sensible terrestrische Ökosysteme, aquatische Ökosysteme und Kryosphäre, Artenvielfalt, sozioökonomische Folgen globaler Umweltveränderungen;

   In die Betrachtung sind die natürlichen und die anthropogenen Ursachen (Industrialisierung, Landwirtschaft, Übervölkerung, Verstädterung, etc.) einzubeziehen, wobei insbesondere die Rückkopplungseffekte zu berücksichtigen sind (zur Vermeidung von unerwünschten Reaktionen auf durchgeführte Maßnahmen).

2. Beobachtung und Bewertung der nationalen und internationalen Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der globalen Umweltveränderungen (insbesondere Meßprogramme, Datennutzung und -management, etc.).

3. Aufzeigen von Forschungsdefiziten und Koordinierungsbedarf.

4. Hinweise zur Vermeidung von Fehlentwicklungen und deren Beseitigung.

Bei der Berichterstattung des Beirats sind auch ethische Aspekte der Globalen Umweltveränderungen zu berücksichtigen.

Bundesrat Drucksache **168/94** (Beschluß)

20.05.94

Beschluß
des Bundesrates

Bericht der Bundesregierung "Globale Umweltveränderungen"
und
Gutachten des Wissenschaftlichen Beirates der Bundesregierung "Globale Umweltveränderungen"

Der Bundesrat hat von dem Bericht Kenntnis genommen.

Der Beschluß ist gemäß § 35 GO BR gefaßt worden.

Vertrieb: Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH, Postfach 1320, 53003 Bonn
Telefon: 0228/3820840, Telefax: 0228/3820844
ISSN 0720-2946