

Unterrichtung

durch die Bundesregierung

Programm „Umweltforschung und Umwelttechnologie“ 1984 bis 1987

Gliederung	Seite
1. Programmziele und Verantwortlichkeiten — Umweltforschung im Rahmen einer zukunftsorientierten Umweltpolitik	3
1.1 Umweltforschung als wesentlicher Bestandteil der Umweltpolitik .	3
1.2 Umweltschutz und Ökonomie	4
1.3 Umweltpolitik als Teil der Gesamtpolitik	4
1.4 Grundprinzipien einer zukunftsorientierten Umweltpolitik	4
1.5 Aufgaben und Verantwortlichkeiten in Umweltforschung und -technologie	5
1.6 Internationale Zusammenarbeit in der Umweltforschung	6
2. Ergebnisse bisheriger Fördermaßnahmen, künftige Prioritäten, Förderinstrumente	7
2.1 Bisherige Schwerpunkte der Umweltforschung des BMFT und künftige Priorität	7
2.2 Beiträge der Großforschungseinrichtungen	9
2.3 Förderinstrumente der Umweltforschung	9
3. Ökologische Forschung	10
A. <i>Wirkung menschlicher Eingriffe auf ausgewählte Umweltbereiche</i>	10
3.1 Bodenbelastung und Wasserhaushalt	10
3.2 Wirkungen von Luftverunreinigungen auf Wälder und andere Ökosysteme etc.	13
3.3 Marine Ökosysteme	14
3.4 Atmosphärische Stoffkreisläufe und Klima	15
3.5 Umweltchemikalien in Nahrungs- und Futtermitteln	16
3.6 Grenzwerte und Bewertung der Belastung des Menschen und ökologischer Systeme	17

	Seite
<i>B. Methodik und Modellentwicklung</i>	18
3.7 Analytik und Bilanzierung von chemischen Stoffen in der Umwelt	18
3.8 Umweltprobenbank	19
3.9 Modellentwicklung	20
4. Technologien zur Reduzierung von Umweltbelastungen	21
4.1 Wasserwirtschaft	21
4.2 Abfallwirtschaft	25
4.3 Luftreinhaltung	29
4.4 Lärmbekämpfung	32
4.5 Reinhaltung des Meeres	33
5. Emissionsarme Technologien und Produkte	34
5.1 Ausgangslage	34
5.2 Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen	35
5.3 Internationale Kooperation	35
6. Anhänge	37
6.1 Übersicht über die mittelfristige Finanzplanung	37
6.2 Mittel- und Schwerpunktübersicht der AGF	37
6.3 Projektträger	43
Abkürzungsverzeichnis	44

1. Programmziele und Verantwortlichkeiten — Umweltforschung im Rahmen einer zukunftsorientierten Umweltpolitik

1.1 Umweltforschung als wesentlicher Bestandteil der Umweltpolitik

Der Schutz der Umwelt ist eine der wichtigsten Aufgaben unserer Zeit. Die Politik der Bundesregierung ist konsequent und zielgerichtet darauf angelegt, alle schädlichen Emissionen aus Abluft, Abwasser oder festen Abfällen weitestgehend zu eliminieren und andere Umweltbelastungen zu vermeiden. Voraussetzung hierfür ist, daß sowohl möglichst gesicherte ökologische und technischwissenschaftliche als auch wirtschafts-, gesellschafts- und planungswissenschaftliche Aussagen und Daten vorliegen und den Zielsetzungen dieser Politik entsprechende leistungsfähige technische Verfahren verfügbar sind. *Forschung und Technologie* können und müssen mit dazu beitragen, die Voraussetzungen und Handlungsspielräume für die Umweltpolitik zu verbessern, indem sie

- durch eine *systematische, intensive medienübergreifende Forschung* ökologische Zusammenhänge und kausale Ursachen/Wirkungsketten aufklären und
- *umweltfreundliche Technologien* insbesondere bei industriellen Produktionsprozessen entwickeln und bis zur Anwendungsreife vorantreiben.

Gesicherte Daten über vorhandene oder zu erwartende Umweltbelastungen, über die *Belastbarkeit* von Menschen, Tieren und Pflanzen sowie den Verbleib und die Wirkungen — einschließlich *langfristiger und synergistischer Wirkungen* — von Schadstoffen in der Umwelt sind eine wichtige Grundlage für die Fortschreibung der Rahmenbedingungen des Umweltschutzes. Zugleich können erst dann neue und *verbesserte Verfahren* als Stand der Technik zur Verminderung von Umweltbelastungen auf breiter Front durchgesetzt werden, wenn die technische Durchführbarkeit unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Parameter hinreichend gesichert ist. Umweltforschung und -technologie sind daher wesentlicher Bestandteil einer zukunftsorientierten Umweltpolitik und müssen im Zusammenhang mit deren Zielsetzungen gesehen werden.

Die heute in vielen Bereichen für jeden sichtbaren Belastungen der Umwelt, die durch die steigenden Ansprüche der Gesellschaft zum Teil bereits zu einer *Beeinträchtigung der natürlichen Lebensgrundlagen* geführt haben, sind die Nebenwirkungen eines evolutionären Prozesses, der mit einer steigenden Inanspruchnahme der natürlichen Ressourcen verbunden war. Ausgehend von akuten Umweltproblemen wie der Luftverunreinigung durch diverse Schadstoffe als wesentliche Mitursache

für die Waldschäden, der Verschmutzung von Gewässern oder dem Verbleib von giftigen Chemikalien hat sich die Umweltdiskussion längst zu einer grundsätzlichen gesellschaftspolitischen *Diskussion über die wünschenswerte Zukunft* entwickelt. Dabei ist das Bewußtsein gewachsen, daß wirtschaftlicher und technischer Fortschritt nur dann sinnvoll bleibt, wenn die Funktionsfähigkeit der natürlichen Umwelt als Lebensgrundlage gewahrt bleibt.

Die *Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen* aus Verantwortung vor den Lebensbedingungen künftiger Generationen und als Voraussetzung für zukünftige wirtschaftliche Betätigung erfordert eine *Politik*, die sich die Schonung der natürlichen Ressourcen zur Aufgabe macht und dabei von einem partnerschaftlichen Verhältnis zur Natur ausgeht. *Umweltpolitik* muß sich an *folgenden Zielen und Wertvorstellungen* ausrichten:

- Erhaltung und Sicherung einer funktionsfähigen und gesunden Umwelt und ihrer natürlichen Vielfalt,
- Umweltverträglichkeit und Ressourcenschonung beim Wirtschaftswachstum,
- vorausschauende Abschätzung der Risiken von Produktionsverfahren, Produkten und anderen Eingriffen in die Natur,
- Bewertung von technischen Verfahren nach dem Ausmaß, in dem umweltbelastende Emissionen und Abfälle anfallen bzw. verwertet oder vermieden werden und Berücksichtigung dieser Eigenschaften bei der Entscheidung zwischen alternativen Verfahren,
- Erhaltung der Regenerationsfähigkeit der Natur.

Der sorgsame Umgang mit den natürlichen Ressourcen, der Schutz von Luft, Boden und Gewässern sowie Tier- und Pflanzenarten und eine sparsame Energienutzung sind Voraussetzungen zur langfristigen Sicherung der Produktionsgrundlagen unserer Volkswirtschaft. Umweltpolitik schützt somit nicht nur die Gesundheit des Menschen und die Belange der Natur, sondern ist auch eine wichtige Voraussetzung zur Sicherung der materiellen Existenzgrundlage unseres Gemeinwesens. Umwelttechnische Innovationen sind für hoch entwickelte Gesellschaften wie die unsrige ein wichtiger Aspekt der Zukunftssicherung. Der Bundesrepublik Deutschland als hoch industrialisiertem und dicht besiedeltem Land kommt hier aufgrund ihrer Lage und ihrer starken Verflechtung mit dem Weltmarkt eine besondere Rolle zu.

1.2 Umweltschutz und Ökonomie

Wirksamer Umweltschutz und gesunde Wirtschaft sind nicht Gegensätze, sondern müssen als Einheit gesehen werden. Ökologie ist Langzeitökonomie, denn gerade in unserem dicht besiedelten und hochindustrialisierten Land hat es sich gezeigt, daß Umweltschutz auch ein Gebot ökonomischer Vernunft ist.

Bei einer ungehemmten Inanspruchnahme der verfügbaren natürlichen Ressourcen mag zwar zunächst das Wachstum stärker sein. Auch ist unübersehbar, daß eine verursacherorientierte Umweltpolitik beim Emittenten zu höheren Kosten führt. Verkannt wird indes häufig, daß auf Umweltbelange nicht Rücksicht nehmende Wachstums- und Produktionsprozesse infolge der nur begrenzt vorhandenen Umweltgüter früher oder später an die natürliche Grenze stoßen.

Unterlassener Umweltschutz ruft entweder irreversible Schäden hervor oder verursacht für die zukünftigen Generationen wesentlich höhere Umweltschutzkosten bei schlechteren Lebensbedingungen. Zudem beschleunigt die Umweltpolitik den technischen Fortschritt und stimuliert die wirtschaftliche Entwicklung, geboten ist allerdings ein umweltverträgliches und ressourcenschonendes Wachstum. Bei einer wachsenden Wirtschaft sind die für den Umweltschutz aufzuwendenden Kosten leichter zu finanzieren. Auch ist die Abfolge der einzelnen Generationen technischer Anlagen und Geräte in einer wachsenden Wirtschaft schneller. Damit wächst die Möglichkeit, umweltfreundliche Techniken von vornherein bei neuen Anlagen einzubauen, was im allgemeinen sinnvoller und wirtschaftlicher ist als der nachträgliche Einbau dieser Techniken in Altanlagen.

Um Friktionen im marktwirtschaftlichen Prozeß zu vermeiden, ist Vorhersehbarkeit auch umweltpolitischer Rahmendaten notwendig. Diesem Erfordernis entspricht eine stetige Umweltpolitik, die angemessene Anpassungsfristen setzt. Das Eigeninteresse der Wirtschaft an der Verminderung der Umweltbelastungen muß stärker geweckt werden. Umweltfeindliche Produktionsverfahren dürfen sich nicht mehr lohnen. So besteht am ehesten die Chance, daß sie geändert werden.

Kurzfristig können schärfere Umweltnormen zwar Wettbewerbsverzerrungen bewirken und ggf. sogar Standortentscheidungen für Produktionsbetriebe beeinflussen. Da aber der Umweltschutz immer mehr auch international zu einer vordringlichen und unausweichlichen Aufgabe wird, sind verschärfte nationale Umweltnormen zugleich eine Chance für heimische Hersteller, sich frühzeitig mit *umweltfreundlichen Produkten* im internationalen Markt eine *gute Wettbewerbsposition* zu verschaffen.

1.3 Umweltpolitik als Teil der Gesamtpolitik

Die Bedeutung einer intakten Umwelt für das Wohlbefinden der Menschen erfordert, die Ziele einer

zukunftsorientierten Umweltpolitik in Einklang zu bringen mit den Zielsetzungen anderer Fachpolitiken z. B. der Wirtschafts-, Energie-, Arbeitsmarkt-, Verkehrs-, Gesundheits- und Raumordnungspolitik, d. h. sie im Falle konkurrierender Ziele mit in die Güterabwägung einzubeziehen. Umweltschutz muß dabei den *Vorrang* haben, soweit die *Gesundheit der Bevölkerung* oder die *langfristige Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen* gefährdet ist.

In vielen Fällen ergänzen sich die Ziele der verschiedenen Fachpolitiken gegenseitig, so z. B. bei der rationellen Energieverwendung oder bei der Verbesserung von Umweltbedingungen, die zugleich auch einen Beitrag zu den gesundheitspolitischen Zielsetzungen leisten.

In anderen Fällen muß mit *Zielkonflikten* gerechnet werden. Dies erfordert eine Güterabwägung im Einzelfall zwischen Umweltschutzanliegen und anderen Ansprüchen der Gesellschaft. Dieser Abwägungsprozeß muß so rechtzeitig eingeleitet werden, daß die aus ihm resultierenden Erkenntnisse Grundlage der zu treffenden Planungen sein können. In ihn ist auch die Abschätzung der Folgen technischer Entwicklungen einzubeziehen.

1.4 Grundprinzipien einer zukunftsorientierten Umweltpolitik

Umweltpolitik muß sich an folgenden Leitlinien orientieren:

- dem Vorsorgeprinzip, nach dem sich Umweltschutz nicht in der Abwehr drohender Gefahren und der Beseitigung eingetretener Schäden erschöpft, sondern schädliche Umwelteinwirkungen im Vorfeld der Gefahrenabwehr minimiert. Deshalb muß insbesondere bereits gehandelt werden, wenn Schadenszuordnungen in naturwissenschaftlichem Sinne noch nicht mit letzter Sicherheit möglich sind;
- dem Verursacherprinzip, nach dem die Kosten für Vermeidung, für Beseitigung oder für Ausgleich von Umweltbelastungen dem Verursacher zuzurechnen sind;
- dem Kooperationsprinzip, nach dem umweltpolitische Entscheidungen in enger Kooperation mit den Ländern, der Unternehmer- und Arbeitnehmerseite, der Wissenschaft sowie den Verbänden der betroffenen Bürger vorzubereiten sind.

Im übrigen kommt es zunehmend darauf an, mit „mehr Marktwirtschaft im Umweltschutz“ mehr und konsequenteren Umweltschutz in einer leistungsfähigen Wirtschaft zu erreichen. Die vorurteilslose Prüfung der Möglichkeiten, verstärkt ökonomische Instrumente im Umweltschutz einzusetzen, schließt keine Lösung von vornherein aus. Ohne die Vorgabe von Grenzwerten und rechtlichen Rahmendaten kommt wirksamer Umweltschutz allerdings nicht aus. Konkrete Vorschläge der Wirtschaft selbst *wird* die Bundesregierung bei der Suche nach den jeweils geeignetsten Instrumenten

sorgfältig prüfen. Die Bundesregierung schätzt dabei die Anpassungsfähigkeit der Wirtschaft hoch ein.

1.5 Aufgaben und Verantwortlichkeiten in Umweltforschung und -technologie

Aufgabe von Forschung und technologischer Entwicklung im Dienste der Umwelt ist es:

- ökologische Zusammenhänge zu entschlüsseln
- Verfahren zur leistungsfähigen Überwachung von Emissionsquellen und der Reinhaltung von Luft, Boden und Wasser bereitzustellen
- künftige Umweltprobleme frühzeitig zu erkennen und die Folgen von Eingriffen in die Umwelt und weiterer Belastungen abzuschätzen
- den Stand der Technik weiterzuentwickeln und derzeit angewandte Verfahren im Hinblick auf bestehende Umweltbelastungen zu verbessern
- neuartige technische Ansätze insbesondere für emissionsarme industrielle Produktionsprozesse, für den Ersatz bisheriger durch umweltfreundlichere Produkte und für die Sanierung von Altlasten (z. B. Deponien) zu finden, um erkannte Risiken abzuwenden und Umweltbelastungen so gering wie möglich zu halten.

Zur Bewältigung dieser Probleme ist ein *interdisziplinärer Forschungsansatz* und ein Zusammenwirken zwischen den verschiedensten Forschungseinrichtungen erforderlich. Wegen der ökologischen Zusammenhänge, der oft schwierigen Zuordnung von Ursachen und Wirkungen und der Komplexität der technischen Probleme ist eine *umfassende, interdisziplinäre Forschung unumgänglich*.

Die in den nachfolgenden Kapiteln 3 bis 5 dieses Programms beschriebenen *Schwerpunkte* zur Förderung von Forschung und Entwicklung durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie ergeben sich aus der Übertragung der beschriebenen Aufgaben auf

- die *natürlichen Ressourcen* Luft, Boden, Wasser (einschließlich des Meeres), Pflanzen- und Tierarten
- die *Belastungen* durch Abfall, Lärm, Chemikalien, Flächenverbrauch etc.

Die Bedeutung der Umweltforschung und der Entwicklung neuer Umweltschutztechniken sowie deren Demonstration und Markteinführung erfordern das *Egagement von Wissenschaft, Wirtschaft und Staat*.

Dabei ist es Aufgabe der Wissenschaft, zur Erweiterung und Vertiefung der wissenschaftlichen Erkenntnisse beizutragen.

In einer marktwirtschaftlichen Ordnung ist industrielle Forschung, Entwicklung und Innovation originäre Aufgabe der Unternehmen. Die Wirtschaft ist deshalb vor allem dort gefordert, wo es sich um

Projekte mit überschaubaren technischen Schwierigkeiten und absehbarem wirtschaftlichen Erfolg handelt. Dazu gehören insbesondere

- Analysen von Schwachstellen der betrieblichen Prozesse und die Verbesserung gemäß der jeweiligen spezifischen Betriebssituation im Hinblick auf eine Verminderung der durch den Betrieb verursachten Gesamtbelastung
- Umstellung der Produktion auf umweltfreundlichere Ersatzprodukte
- Weiterentwicklung der technischen Verfahren und der entsprechenden Anpassung angewandter Verfahren einschließlich Entwicklung neuer technischer Lösungen.

Gerade im Bereich der Daseins- und Zukunftsvorsorge liegt jedoch eine unbestrittene wichtige Aufgabe des Staates. Daher ist eine *finanzielle Förderung* durch den Staat vor allem dann gerechtfertigt und erforderlich, wenn

- es sich um Grundlagenforschung oder typische Querschnittsaufgaben handelt, die nur in interdisziplinärer Zusammenarbeit angegangen werden können (z. B. Wirkungsmechanismen, Belastungsgrenzen) oder wenn grundlegende Entwicklungen mit hohen technischen und wirtschaftlichen Risiken voranzutreiben sind, bei denen der finanzielle Einsatz bei der Entwicklung bis zur Anwendungsreife und der Markteinführung neuer Verfahren für die Unternehmen (z. B. aus strukturellen Gründen etwa bei der klein- und mittelständischen Industrie) zu groß ist,
- aus übergeordneten Umweltschutzgründen eine Technik beschleunigt für den Markt oder im überwiegenden Interesse der Allgemeinheit (z. B. Ölbekämpfung im Meer) bereitgestellt werden soll,
- die öffentliche Hand selbst in der Verantwortung steht, für die Erhaltung der Umwelt zu sorgen. Insbesondere trifft dies zu bei den kommunalen Abwässern und der Abfallbeseitigung, da die Gemeinden aus eigener Kraft nicht die erforderlichen Anstrengungen zur Entwicklung von fortschrittlichen und umweltgerechten Entsorgungstechnologien leisten können,
- der Technologie- und Know-how-Transfer aus öffentlich geförderten Einrichtungen in den Bereichen der privaten Wirtschaft erfolgen soll.

Staatliche Förderung soll dabei nicht in die Eigenverantwortung der Wirtschaft für den Umweltschutz eingreifen oder sie gar ersetzen, sondern die privaten Aktivitäten ergänzen und die Sicherstellung notwendiger Entwicklungen gewährleisten. Soweit die Förderung Vorhaben in der Wirtschaft betrifft, muß damit in der Regel ein *deutlicher Eigenbeitrag* der Wirtschaft einhergehen.

Andere Kriterien müssen selbstverständlich für die ressortakzessorische Forschung gelten, wo es etwa um Forschung zum Schutz von Natur und Landschaft oder Forschungs- und Entwicklungsaufgaben

für den Erlass, die sinnvolle Ausfüllung oder die Überwachung der Ausführung von Gesetzen und Vorschriften im Umweltschutz geht und wo Eigenleistungen der Wirtschaft nicht zu erwarten sind. Hier werden erhebliche Anstrengungen insbesondere vom Bundesminister des Innern sowie vom

Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten unternommen, die im Umweltforschungsbericht der Bundesregierung dargestellt sind. Innerhalb der Förderaktivitäten des BMFT steht dieses Programm im Zusammenhang mit folgenden anderen Programmen und Schwerpunkten:

Programmbereiche des BMFT	Schwerpunkte
Klimaforschung (gemeinsames Programm mit BML, BMI, BMV, BMZ, BMWi, BMBau, BMVg)	Einfluß anthropogener Aktivitäten auf das Klima
Gesundheitsforschung (gemeinsames Programm mit BMJFG, BMA)	Prävention von Krankheiten, Auswirkungen von Umweltbelastungen auf die menschliche Gesundheit
Energieforschung und -technologien	Minderung von Luftschadstoffen insbesondere im Kraftwerksbereich, Abgasreinigung
Transport und Verkehrssysteme	Minderung von Luftschadstoffen bei Kfz
Rohstoffe	Technologien zur Trink- und Brauchwasserversorgung
Humanisierung des Arbeitslebens (gemeinsames Programm mit BMA)	Minderung der Lärm- und Schadstoffexposition am Arbeitsplatz
Meeresforschung	Meeresökologie

1.6 Internationale Zusammenarbeit in der Umweltforschung

Umweltprobleme sind in vielen Fällen, so etwa bei Schadstoffbelastungen von Flüssen oder der Luft, *grenzüberschreitender Natur* und können daher nicht allein im nationalen Rahmen gelöst werden. Um einen durchgreifenden *Erfolg bei der Senkung* der Umweltbelastungen zu erzielen, bedarf es einer engen *internationalen Zusammenarbeit* sowohl auf der Maßnahmenseite als auch im Bereich von Forschung und Entwicklung einschließlich des Informations- und Erfahrungsaustausches. Darüber hinaus trägt eine Abstimmung und Angleichung der Umweltforderungen in den verschiedenen Staaten dazu bei, Handelshemmnisse und Wettbewerbsverzerrungen zu vermeiden. Die internationale Zusammenarbeit sollte sich dabei insbesondere auf folgende Aufgaben erstrecken:

- *Überwachung* der Reinhaltung grenzüberschreitender Gewässer sowie der Meere nach abgestimmten Verfahren und Datenerhebungen über den grenzüberschreitenden Transport von Luftschadstoffen (z. B. internationale Meßnetze, Fernerkundung) und anderen umweltschädlichen Stoffen
- *Harmonisierung* der Emissionsgrenzwerte und Produktionsnormen (z. B. Kfz-Abgase), der Vorschriften zur Abfallbeseitigung, der Prüfverfahren für Chemikalien etc.
- *Erforschung* von Wirkungsmechanismen, z. B. von sauren (trockenen und feuchten) Niederschlägen, verkürzt häufig als „saurer Regen“ bezeichnet, Transportvorgängen und Reaktionen in der Atmosphäre (z. B. Ozonabbau, Ausbrei-

tung von Luftverunreinigungen), sonstige Auswirkungen anthropogener Aktivitäten (z. B. Klima) und Klärung übergreifender Zusammenhänge

- *Entwicklung* emissionsarmer Industrieprozesse und Verfahren zur Reinigung von Abgasen, Abwässern etc., um in weitestmöglichem Umfang in allen Ländern den besten Stand der technischen Verfahren anzuwenden.

Die *Zusammenarbeit mit Industrienationen* bietet sich auf der Forschungsebene aufgrund gleichartiger Problemstellungen an, weil durch sinnvolle Arbeitsteilung bei Forschungsvorhaben und Entwicklungen Resultate häufig schneller und kostengünstiger erzielt werden können. In vielen Fällen ist eine innerhalb Europas wie innerhalb der westlichen Industrienationen abgestimmte Umweltforschung eine wesentliche *Voraussetzung* dafür, daß eine *Harmonisierung der Umweltschutzvorschriften* in den Partnerländern vorangetrieben werden kann und abgestimmte Überwachungsverfahren angewandt werden können.

Der *Zusammenarbeit mit den Ländern der Dritten Welt* kommt besondere Bedeutung zu, da die Bundesrepublik als Industriestaat aufgrund ihrer Erfahrungen und ihres technischen Know-how mit dazu beitragen kann, daß in den Entwicklungsländern Umweltbelastungen, die insbesondere mit dem weiteren Ausbau der Industrialisierung und dem Entstehen und Anwachsen von Ballungszentren dort verbunden wären, möglichst vermieden und vorhandene Belastungen abgebaut werden können. Es ist deshalb darauf zu achten, daß Forschung und Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland künftig die Probleme dieser Länder stärker berück-

sichtigen und *beiderseitig anwendbare Lösungen* angestrebt werden. *Bilaterale Modellvorhaben* auch unter Einbeziehung internationaler Organisationen und Programme, die u. a. der Verbesserung und Nutzung von neuen, den lokalen Umständen *angepaßten Verfahren* etwa in den Bereichen Entsorgung, Reinigung und Wiederverwendung von Abwässern dienen, können dazu beitragen, daß diese Erfahrungen einer Vielzahl von Ländern zugute kommen. Bilaterale Kontakte mit anderen Ländern beziehen sich vor allem auf solche Umweltfragen, bei denen abgestimmte Forschungen von gemeinsamem Interesse sind. Intensive Kontakte bestehen vor allem zu den USA und Japan, wobei gezielt Fragen aus dem Bereich der Abfall- und Abwasserwirtschaft und auch der ökologischen Forschung bearbeitet werden, aber auch zu Brasilien, Indonesien, Mexiko, Ägypten und anderen Ländern.

Im multilateralen Bereich ist vor allem die Mitwirkung in den *Gremien der Europäischen Gemeinschaften* (EG), der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (ECE), des Nordatlantikpaktes (NATO-CCMS), dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) und der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) von Bedeutung.

Im Rahmen der EG-Aktivitäten werden auch nationale Forschungsarbeiten beraten und in direkten oder indirekten Aktionen durchgeführt. Durch Mitwirkung in allen Gremien (Beratender Programmausschuß Umwelt als Unterausschuß des CREST) und Fachgruppen wird die Umweltforschungspolitik der EG von deutscher Seite aus aktiv unterstützt und mitgestaltet. Dadurch werden zugleich die *nationalen Vorhaben* und die von der *EG geförderten Vorhaben* aufeinander *abgestimmt*. Über den Austausch von Erfahrungen hinaus sind gemeinschaftliche Bemühungen in der Forschung und der Klärung des gesicherten Wissensstandes geeignet, von dieser gemeinsamen Grundlage aus die Verabschie-

dung wirksamer und harmonisierter Umweltschutzregelungen in der EG zu fördern.

Eine Verstärkung der ökologischen Forschung, insbesondere im Zusammenhang mit der Erforschung der Ursachen der neuartigen Waldschäden, ist von deutscher Seite nachhaltig mitgetragen worden.

Die Maßnahmen der EG basieren auf dem „*Sektoralen FuE-Programm auf dem Gebiet der Umwelt*“ (1981 bis 1985), das am 3. März 1981 durch den Rat beschlossen worden ist. Schwerpunkte dieses Programms sind indirekte und konzertierte Aktionen zu den Themen:

- Quellen, Verlaufswege und Wirkungen von Schadstoffen
- Verringerung und Verhütung der Umweltverschmutzung und -belastung
- Schutz und Erhaltung der natürlichen Umwelt
- Umweltinformation
- Wechselwirkungen zwischen Mensch und Umwelt.

Die 1979 von den Mitgliedsländern der ECE sowie der EG unterzeichnete *Genfer Konvention* über den weiträumigen grenzüberschreitenden Transport von Luftverunreinigungen ist im Frühjahr 1983 in Kraft getreten. Die Konvention, welche die Vertragsparteien verpflichtet, in Einklang mit einer ausgewogenen Entwicklung die bestmöglichen Strategien zur Luftreinhaltung, u. a. durch Einsatz der besten verfügbaren und wirtschaftlich vertretbaren Technologie, zu erarbeiten, ist im Zusammenhang mit dem „Sauren Regen“ von großer Bedeutung, da sie auch die osteuropäischen Länder mit erfaßt. Die Konvention umfaßt sowohl emissionsmindernde Maßnahmen als auch den Erfahrungsaustausch und die Zusammenarbeit in der Forschung.

2. Ergebnisse bisheriger Fördermaßnahmen, künftige Prioritäten, Förderinstrumente

2.1 Bisherige Schwerpunkte der Umweltforschung des BMFT und künftige Prioritäten

Ein Rückblick auf die bisherigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in den verschiedenen Teilbereichen zeigt, daß es in einer Vielzahl von Fällen notwendig war, schnell und wirksam akute Belastungen durch verbesserte Reinigungs- und Rückhalteverfahren abzubauen. Die durch die geförderten Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen entstandenen technischen Verfahren haben wichtige Beiträge zur Minderung von Schadstoffemissionen geleistet und bei der Festlegung von Mindestanforderungen (z. B. bei der Abwasserreinigung) und Grenzwerten für zulässigen Schadstoffausstoß (z. B.

bei Kraftwerken) Berücksichtigung gefunden. Erkenntnisse der Wirkungsforschung haben dazu beigetragen, das Risiko von durch den Menschen verursachten Umweltbelastungen schärfer zu erfassen.

Ökologische Forschung

Im Vordergrund standen bis jetzt isolierte Betrachtungen der Gefährdung durch einzelne chemische Stoffe. Eine Fülle von Erkenntnissen über Vorkommen, Toxizität, Abbaubarkeit und Akkumulation sowie Transport einzelner Substanzen innerhalb und zwischen den Umweltbereichen Boden, Wasser und Luft wurde zusammengetragen.

Kostengünstige und in der Aussage zuverlässige Testmethoden zur biologischen Prüfung von Chemikalien sind erst in den letzten Jahren entwickelt worden. Hiermit wurden die Voraussetzungen für die Bewertung „neuer Chemikalien“, wie sie das Chemikaliengesetz vorsieht, geschaffen (z. B. der Ames-Test zur Früherkennung mutagener Substanzen, der durch BMFT-Förderung verbessert wurde).

Die Bedeutung der zuverlässigen Abschätzung des Gefährdungspotentials von Stoffen wird veranschaulicht durch das Fluorchlorkohlenwasserstoffproblem. Mitte der siebziger Jahre wurden für einen Abbau des Ozonschildes der Erde durch Fluorchlorkohlenwasserstoffe in den nächsten 80—100 Jahren sehr hohe Werte vorhergesagt. Hier haben Förderungsmaßnahmen der Bundesregierung zusammen mit ausländischen Stellen erheblich dazu beigetragen, eine größere Sicherheit in der Risikoabschätzung zu erlangen.

Für die zukünftigen ökologischen Arbeiten ist der Übergang zu einer *integrierten Betrachtungsweise* entscheidend („Ökosystemforschung“). Dies erfordert Untersuchungen der

- Gesamtsituation der Umwelt aufgrund von Belastungen durch die verschiedensten Schadfaktoren,
- synergistischen Wirkungen von Stoffen, die oft erst nach langen Expositionszeiten Wirkungen zeigen,
- Belastung, Stabilität und Regenerationsfähigkeit von Ökosystemen und ihrer Komponenten zusammen mit der Entwicklung geeigneter Frühindikatoren,
- Bilanzierung der Schadstoffkreisläufe in Boden, Wasser, Luft und Biosphäre.

Von diesen Untersuchungen werden wichtige Beiträge für einen verstärkten und umfassenden Schutz des Bodens im Rahmen der in Vorbereitung befindlichen Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung erwartet.

Wasserwirtschaft

Vordringliche Aufgabe in der Vergangenheit war es, das biologische Gleichgewicht der Gewässer durch eine bessere Reinigung der Abwässer zu bewahren, kritische Belastungen durch problematische Stoffe zu reduzieren, das Absinken der Sauerstoffgehalte der Fließgewässer zu begrenzen und die übermäßige Zufuhr von Phosphaten (Eutrophierung) zu vermeiden. Einen wichtigen Beitrag liefert dazu die Verbesserung der biologischen Abwasserbehandlung, die für viele Fälle den leistungsfähigsten Klärprozeß darstellt. Als Folge davon hat sich die Gewässergüte der großen deutschen Oberflächengewässer seit 1975 zum Teil deutlich gebessert. Dennoch ist das Güteziel noch nicht erreicht. In vielen Fällen haben die mit staatlichen Mitteln geförderten Entsorgungsverfahren Eingang in die allgemeine Anwendung gefunden.

Die geförderten Forschungs- und Entwicklungsvorhaben haben dazu beigetragen, die Emission von Schadstoffen zu verringern, was bei der Festlegung der Mindestanforderungen an das Einleiten von Abwasser nach dem Wasserhaushaltsgesetz und den hierzu durch die Bundesregierung erlassenen Verordnungen in diversen Industriezweigen berücksichtigt worden ist. Es hat sich gezeigt, daß neben den bislang bekannten Schadstoffen auch solche organischen Schadstoffe in den Abwässern vor allem der Industriebetriebe enthalten sind, die biologisch nicht oxidierbar sind. Dies hat zur Entwicklung einer neuen Kenngröße geführt, dem chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) mit der Folge höherer Reinigungsanforderungen. Neben hier noch weitgehend ungelösten Einzelaufgaben sind als künftige Aufgaben in den Vordergrund getreten:

- *Schlammbehandlung*: durch vermehrte Abwasserbehandlung ist das Aufkommen an Klärschlämmen sprunghaft gestiegen. Wegen der begrenzten Möglichkeiten der Schlammverwertung und der Probleme bei der Schlammbeseitigung (kontaminierte Schlämme und beengte Deponieräume) ist eine Verbesserung der Technologien zur Schlammbehandlung erforderlich.
- *Entsorgung*: durch Reinigungs- und Behandlungsverfahren für die Abwässer darf das Schadstoffproblem nicht in andere Bereiche (Luft, Boden) verlagert werden. Die Entsorgung der Klärwerke muß daher in die technologische Entwicklung mit einbezogen werden.
- *Kostenbegrenzung*: Die verbesserte Klärtechnik hat in Verbindung mit höheren Reinigungsanforderungen zu einer überproportionalen Steigerung des Energieverbrauchs bei der Abwasserreinigung geführt. Die Weiterentwicklung der Technologien muß dieser Tendenz entgegenwirken.
- *Abscheidung kritischer Stoffgruppen*: Hierzu gehören Stickstoff, Phosphor, Metalle, schwer abbaubare organische Stoffe, für deren Abscheidung entsprechende Verfahren zu entwickeln sind.

Abfallwirtschaft

Seit Anfang der siebziger Jahre ist ein erfolgreicher Übergang von einer Vielzahl verstreuter, nur z. T. kontrollierter und umweltverträglicher Abfallbeseitigungen zu leistungsfähigen Entsorgungsanlagen vollzogen worden. Die Förderung von neuen Verfahren zur thermischen und stofflichen Verwertung von Abfällen war wichtige Voraussetzung zum Übergang zu einer fortschrittlichen Abfallwirtschaft und hat zur Verlängerung der „Lebensdauer“ von Deponien beigetragen. Der Bereich der Sammlung und Verwertung von Deponiegas ist erfolgreich durch mehrere Vorhaben aufgegriffen worden, entsprechende technische Lösungsmöglichkeiten sind inzwischen verfügbar.

In der Zukunft bleibt die Vermeidung sowie die Verbesserung der Nutzung von Abfällen eine wichtige

Aufgabe, wobei sich das Gewicht von der Separiertechnik stärker hin zu den Produkten der Aufbereitung verschieben wird. Prioritär ist die Behandlung von Sonderabfällen zu verfolgen, insbesondere hinsichtlich der Entgiftung, Aufbereitung und Verwertung spezieller Sondermüllarten sowie die Verminderung jener Rückstände aus der Produktion, die bisher noch auf der Hohen See oder durch Müllexport in andere Länder entsorgt werden. Um das von der Bundesregierung vorgegebene Ziel erfüllen zu können, daß Abfälle grundsätzlich in dem Staat zu beseitigen sind, in dem sie anfallen, müssen entsprechende Anlagen und Verfahren zur Umweltgerechten Entsorgung weiterentwickelt werden und in ausreichender Zahl zur Verfügung stehen.

Darüber hinaus erfordert die mögliche Umweltgefährdung durch Altablagerungen problematischer Rückstände sowie geschlossene, früher unkontrolliert betriebene Sonderabfalldeponien einen hohen Forschungs- und Entwicklungsaufwand, sowohl hinsichtlich der Analyse und Bewertung der Umweltbelastung als auch zur Entwicklung sicherer und kostengünstiger Sanierungsmethoden.

Luftreinhaltung

Die Luftbelastung in der Bundesrepublik Deutschland wird im wesentlichen durch die drei Verursachergruppen Energieerzeugung, Verkehr und industrielle Produktionsprozesse bestimmt, in Teilbereichen auch durch den Hausbrand. Die wichtigsten Emissionen sind dabei Schwefeldioxid, Stickoxide, Kohlenmonoxid, Staub und organische Verbindungen. Bislang haben die Maßnahmen zur Luftreinhaltung dazu geführt, extreme Belastungen vor allem in den Ballungsgebieten abzubauen.

Die konsequente Anwendung des fortgeschrittenen Standes der Technik wird eine beträchtliche Reduzierung der Umweltbelastungen zur Folge haben. Darüber hinaus kommt der weiteren Entwicklung von Technologien zur Emissionsminderung entscheidende Bedeutung zu.

Ein gutes Beispiel für die Anwendung einer neuentwickelten Umwelttechnologie sind die in der Kraftwerkstechnik eingesetzten Stufenbrenner, mit denen ohne zusätzlichen Energieaufwand und ohne wesentliche Mehrkosten die Bildung von Stickoxiden auf annähernd die Hälfte verringert werden kann. Betreiber wie Kessel- und Brennerhersteller berücksichtigen diese Entwicklung bei allen derzeit geplanten und im Bau befindlichen Anlagen.

Die Entwicklung und Einführung neuer technischer Verfahren zur Emissionsminderung muß mit Priorität weiter betrieben werden. Insbesondere sind solche Technologien von Bedeutung, bei denen die Emissionsminderung integraler Bestandteil des Verfahrens ist und die zugleich auf eine gute Energie- und Rohstoffausnutzung ausgelegt sind.

2.2 Beiträge der Großforschungseinrichtungen

Die Großforschungseinrichtungen leisten auch im Umweltbereich wichtige Beiträge zur Verwirkli-

chung der forschungspolitischen Ziele der Bundesregierung. Sie setzen ihre multidisziplinären Forschungs- und Entwicklungskapazitäten zur Klärung und systemanalytischen Beschreibung der Folgen menschlicher Eingriffe und vom Menschen verursachter Luftverunreinigungen (z. B. auf Boden- und Wasserhaushalt, Waldschäden), zur Entwicklung von optimierten Verfahren zur Minderung der Freisetzung von Schadstoffen sowie zur ökologischen Forschung im Zusammenhang mit chemischen Stoffen und marinen Ökosystemen ein.

Die Bundesregierung erwartet, daß die Großforschungseinrichtungen im Rahmen ihrer institutionellen Förderung maßgeblich an der Verwirklichung dieses Programms mitarbeiten und Anregungen zur Gestaltung des jeweiligen Grundlagenanteils bei den Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen aufgreifen.

Einen genauen Überblick über die Zuarbeit der Großforschungseinrichtungen zu den einzelnen Kapiteln dieses Programms liefert die Darstellung im Anhang 6.2.

Darüber hinaus kommt den Großforschungseinrichtungen eine besondere Verantwortung im Hinblick auf eine frühzeitige Technologiefolgenabschätzung zu. Als fortgeschrittene Industrienation braucht die Bundesrepublik Deutschland den technischen Fortschritt, aber stärker als bisher müssen die Folgen technischer Entwicklungen für die Umwelt — auch hinsichtlich anderer Wirkungsbereiche — bereits während der Entwicklungsphase neuer Technologien mitbedacht werden. Dazu gehörte auch, daß kritische Entwicklungen, die sie bei den derzeitigen Waldschäden mit überraschender Dynamik zu verzeichnen sind, in Zukunft früher erkannt werden müssen damit ihnen rechtzeitig begegnet werden kann. Dies setzt voraus, daß ein „Frühwarnnetz“ aus sensiblen Indikatoren für ablaufende Umweltveränderungen definiert und aufgebaut wird.

2.3 Förderinstrumente der Umweltforschung

Die Förderung der Forschung und Entwicklung im Bereich der Umweltforschung und Umwelttechnologie muß sich des gesamten Instrumentariums der Forschungsförderung, von der direkten Projektförderung bis hin zu indirekten Maßnahmen (wie z. B. steuerliche Anreize) bedienen. Die Besonderheiten des Umweltbereichs legen es jedoch nahe, die Schwergewichte bei folgenden Instrumenten zu sehen:

- *institutionelle Förderung* von Großforschungseinrichtungen und Forschungseinrichtungen des Bundes und der Länder zur Verstärkung der Grundlagenforschung im Umweltbereich,
- *Verbundforschung* wegen der erforderlichen interdisziplinären Ausrichtung der Forschung aller an Umweltfragen Beteiligten,
- *direkte Projektförderung* in den Fällen, in denen z. B. die technischen Risiken einer speziellen Entwicklung zu hoch sind, um von einem oder

mehreren Unternehmen allein getragen zu werden, oder der wissenschaftliche Sachverstand vor allem in *Hochschulen* vorhanden ist,

- *indirekte Förderung durch Nachfragestimulierung* (z. B. öffentliche Beschaffung; steuerliche Anreize, Finanzhilfen zur Förderung von Umweltschutzinvestitionen und -entwicklungen).

Die *institutionelle Förderung* von Forschungseinrichtungen soll die Grundlage für die Durchführung *langfristiger und grundlagenorientierter* Vorhaben schaffen sowie für solche Forschungsarbeiten, die nur *mit hohem personellen und apparativen Aufwand* realisierbar sind. Hier wird es erforderlich sein, eine *verstärkte Orientierung* der bereits vorhandenen Forschungsbemühungen der Forschungseinrichtungen auf Umweltprobleme herbeizuführen und so noch fehlendes Grundlagenwissen zu gewinnen. Daneben erscheint es aber genauso bedeutsam, gerade an einzelnen Forschungseinrichtungen vorhandenes Wissen in breitgestreuter Form zur allgemeinen Nutzung anzubieten (*Wissenstransfer*).

Im Bereich der Umweltforschung ist wegen der Vielschichtigkeit der Umweltprobleme und der die Fachgrenzen überschreitenden Anforderungen eine enge und frühzeitige Verzahnung von Forschung und Entwicklung mit der Umsetzung in technische Verfahren und praktische Anwendung von ausschlaggebender Bedeutung. Je nach dem Stadium der Entwicklung und der dementsprechenden Interessenlage von Forschungseinrichtungen, Herstellern und Anwendern technischer Verfahren sind die Förderungsaktivitäten im Einzelfall so aufeinander abzustimmen, daß es zu einer breiten Umsetzung der erzielten Ergebnisse kommt. Hier sind von einer *Verstärkung der Verbundforschung* noch weitere Impulse zu erwarten.

Im Umweltbereich wird weiterhin der *direkten Projektförderung* eine maßgebliche Rolle zukommen. Sie ist vor allem dann erforderlich, wenn die technischen Risiken einer speziellen Entwicklung hoch sind, die *Struktur der Wirtschaft* (z. B. kleinere und mittlere Unternehmen) aufwendige FuE-Vorhaben

nicht zuläßt, *staatliche Vorsorgeverpflichtungen* bestehen (z. B. Entwicklung von Ölbekämpfungsgerät) oder der wissenschaftliche Sachverstand vor allem in *Hochschulen* vorhanden ist oder dort erarbeitet werden kann.

Daneben kann auch durch *staatliche Nachfrage* nach umweltfreundlichen Produkten und Verfahren im Rahmen der Vergabevorschriften ein Anstoß zu entsprechender Forschung und Entwicklung ausgelöst werden. Dies gilt um so mehr, als ein Großteil von Umwelttechnologien unmittelbar von staatlichen Nachfragern am Markt beschafft werden muß (vor allem Kommunen, Kommunalverbänden).

Auch *steuerliche Anreize* wie Abschreibungserleichterungen (z. B. § 7d EStG) und *Kredithilfen* (z. B. zinsgünstige ERP-Kredite) tragen dazu bei, die Einführung neuer Umwelttechniken zu beschleunigen und Forschung und Entwicklung von der Marktseite her zu unterstützen.

Die *indirekt-spezifische Förderung* ist dadurch gekennzeichnet, daß auf einem genau umrissenen Technologiegebiet (spezifische Komponente) FuE- oder Innovationsaktivitäten in einem auf Breitenwirkung ausgerichteten Verfahren (indirekte Komponente), das die individuellen Unternehmensentscheidungen zu Produkt- und Verfahrensentwicklungen nicht staatlicher Mitwirkung unterwirft, gefördert werden. Dieser Förderansatz ist z. B. besonders geeignet, wenn grundlegend neu entwickelte Verfahren in breiter Weise umgesetzt und an spezifische Besonderheiten in verschiedenen Branchen angepaßt werden sollen.

Er erfordert eine entsprechende *finanzielle Ausstattung*, um eine Vielzahl gleichgerichteter Vorhaben unterstützen zu können und setzt voraus, daß geeignete Technologiebereiche identifiziert werden können und abgrenzbar sind. Es wird zu prüfen sein, ob *indirekt-spezifische Fördermaßnahmen* zu einer breiten Anwendung bereits entwickelter Umwelttechniken oder aber zur breitenwirksamen Entwicklung neuer Umwelttechnologien führen können.

3. Ökologische Forschung

A. Wirkungen menschlicher Eingriffe auf ausgewählte Umweltbereiche

3.1 Bodenbelastung und Wasserhaushalt

3.1.1 Ausgangslage

Im Ökosystem ist es der Boden, aus dem die Nährstoffaufnahme der Pflanzen erfolgt und in dem die

Stoffumsetzungen der Zersetzerorganismen ablaufen. Er hat die Funktion, Wasser, Nährstoffe und Luft in verfügbarer Form zu speichern sowie die mit dem Stoffumsatz verbundene Bildung von Säuren und Basen zu puffern. Er ist Träger der Pflanzendecke, Lebensraum der Wurzeln und der Bodenorganismen, er bestimmt die chemische Zusammensetzung des Grundwassers, er dient als Grundwasserspeicher, ist Träger der Bodenschätze und

nicht zuletzt Standort für Erholungsgebiete, Siedlungen, Industrien, Verkehrswege usw.

Ein großer Teil der Böden in der Bundesrepublik ist im Verlauf der letzten Jahrtausende durch den Menschen tiefgreifend verändert worden. Vielfach wurden die Böden durch Erosion teilweise abgetragen, in den Tälern sind durch Aufschüttung neue Böden entstanden. Die Übernutzung des Waldes im Mittelalter hat zur Versauerung der Böden und Verarmung der Wälder bis zur Verheidung geführt. Die Industrialisierung hat sowohl im Nah- wie im Fernbereich von Emittenten durch eine Vielzahl von Emissionen und ihre Verbreitung in der Luft eine zunehmende Deposition von Schadstoffen bewirkt. Mehr und mehr wurde dabei offenkundig, daß der Boden eine Senke für die verschiedensten Chemikalien ist, die auf dem Luft- und Wasserpfad, durch Ablagerung von Abfällen (wie z. B. Müllkompost und Klärschlamm) sowie durch den Einsatz in der Landwirtschaft in die Umwelt gelangen.

Zusätzlich zu seiner ursprünglichen Bedeutung ist dem Boden dadurch eine *neue Funktion* erwachsen: Über seine Filter-, Puffer- und Transformationseigenschaften kann er zur Eliminierung von Umweltchemikalien beitragen und verhindern, daß diese Grundwasser und Oberflächengewässer kontaminieren.

Da alle vom Menschen produzierten und verwendeten Substanzen früher oder später in unterschiedlicher Menge und Verteilung auf die Erdoberfläche gelangen, dort deponiert und nur teilweise wieder abgebaut und ausgetragen werden, muß vorgesorgt werden, daß dies nicht zu einer Erschöpfung der Reinigungskräfte und dadurch fortbestehender Kontamination des Bodens mit teilweise irreparablen Schädigungen führt. Mit zum Teil erheblichem technischen Aufwand und unter entsprechenden Kosten können zwar Abluft und Abwasser gereinigt werden, im Boden akkumulierte Schadstoffe — wie Schwermetalle und persistente organische Chemikalien — können jedoch praktisch nicht wieder daraus entfernt werden.

Übergeordnetes Anliegen aller Bemühungen zum Schutze des Bodens muß die Erhaltung und langfristige Sicherung aller Bodenfunktionen, insbesondere durch Minimierung der Bodenbelastungen sein, vor allem im Hinblick auf:

- Ertragsmenge und Nahrungsqualität der Kulturpflanzen
- langfristige Bodenfruchtbarkeit
- langfristige Bodeneigenschaften zur Stoffumsetzung und -umwandlung
- Qualität des Grundwassers und der Oberflächengewässer und damit des Trinkwassers
- Vielfalt der Flora, Fauna und Mikroorganismen in kultur- und naturnahen Landschaften (insbesondere in Naturschutzgebieten)
- den Boden als Siedlungs- und Wirtschaftsfläche sowie Träger von Bodenschätzen

— den Boden als auch nutzungsfreies Schutzgut.

Der gesetzliche Rahmen für die Kontrolle von Abwasser, Luftverunreinigungen und Abfall liefert grundsätzlich die Möglichkeit, dieses Ziel zu erreichen. Voraussetzung hierfür ist allerdings die Berücksichtigung aller Einwirkungen auf den Boden. Ein umfassendes Bodenschutzkonzept der Bundesregierung wird zur Zeit erarbeitet.

3.1.2 Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen

Erforderlich sind genauere Kenntnisse über die physikalischen, chemischen und biologischen Wechselwirkungen zwischen Böden und Umweltchemikalien über den jetzigen Stand hinaus. Sie sind notwendig, um zum einen die Ertragsfähigkeit des Bodens zu erhalten, zum anderen aber auch um die Fähigkeit des Bodens zum Abbau und zur Eliminierung von Umweltchemikalien auszunutzen. Dazu müssen die Informationen über die bisherige Belastung des Bodens mit Umweltchemikalien über die z. B. im Bereich Pflanzenschutzmittel vorliegenden Kenntnisse hinaus vervollständigt werden. Da das Ausmaß der Akkumulation von Umweltchemikalien im Boden bestimmt wird durch:

- den Stoffeintrag, die Verweildauer und die Umsetzung im Boden (verschieden je nach Bodentypen, Bindungszustand, Löslichkeit, äußeren Bedingungen)
- den Stoffaustrag über Luft, Oberflächen- und Grundwasser
- den Entzug an Pflanzen-(Bio-)masse

müssen vor allem folgende Problemfelder bearbeitet werden:

- Eintrag an Umweltchemikalien und Belastung der Böden und des Grundwassers
- Mobilität und Stoffumwandlung von Umweltchemikalien im Boden
- Techniken zur Verbesserung belasteter Böden
- Biologische Verfügbarkeit von Umweltchemikalien im Boden und Grundwasser und
- Erfassung der Stoffausträge.

3.1.2.1 Bisherige Förderungsschwerpunkte

An verschiedenen Stellen in der Bundesrepublik werden bereits Forschungsvorhaben mit dem Ziel durchgeführt, Verbleib und Wirkungen von Umweltchemikalien in Böden aufzuzeigen. Aufgrund der Vielschichtigkeit der damit verbundenen Probleme arbeiten Wissenschaftler unterschiedlicher Fachrichtungen bei der Auswahl der Böden, der exakten Analyse der Fixierungsprozesse, dem Abbauverhalten und der Mobilität von Umweltchemikalien und der Klärung von Aufnahme und Verbleib der Schadstoffe in Pflanzen zusammen. Im Vordergrund stehen dabei Themen wie:

- Herkunft und Mengen unterschiedlicher Schwermetallverbindungen in Kulturböden und

deren Auswirkungen auf landwirtschaftliche Nutzpflanzen einschließlich Entwicklung geeigneter Abhilfemaßnahmen oder

- Auswirkungen von Depositionen saurer Luftverunreinigungen auf Grünland- und Waldökosysteme.

3.1.2.2 Zukünftige Aufgaben

a) Eintrag von Umweltchemikalien und Belastung der Böden und Gewässer

Der Wissensstand reicht heute noch nicht aus, um bei aufgetretenen Schäden in jedem Falle eine abschließende Ursachenbeurteilung vorzunehmen. Es fehlen z. B. flächendeckende Angaben über die Stoffmengen, die jährlich durch Naß- und Trockendeposition auf den Boden gelangen. Ziel der weiteren Arbeiten ist es daher, eine Bilanz zu erstellen, um exakte Angaben zu erhalten z. B. zu der Frage: Welche Umweltchemikalien werden in welcher Menge (z. B. jährliche Raten) und in welcher Region in den Boden eingetragen und welche Bedeutung kommt hierbei der jeweils vorhandenen Pflanzenart zu?

In Zusammenarbeit mit Forschungsvorhaben über die Reinhaltung der Luft müssen die Mechanismen des Schadstoffeintrags in den Boden erfaßt werden. Eine regionale Differenzierung soll die Unterschiede zwischen Böden im Einflußbereich von Industrie- und Ballungsgebieten sowie industriefernen Standorten sichtbar machen; vorrangig müssen dabei land- und forstwirtschaftlich genutzte Flächen untersucht werden. Die Belastungserfassung muß flächendeckend sein, so daß Modelle zur Beschreibung der Mobilität und der Stoffumwandlung von Umweltchemikalien zur Abschätzung der möglichen Belastung durch neue Umweltchemikalien für verschiedene Bodentypen entwickelt werden können. Deshalb müssen die Untersuchungen vorwiegend unter realen Geländebedingungen durchgeführt werden und den Austrag von Schadstoffen (z. B. mit dem Sickerwasser) berücksichtigen.

Parallel dazu sind gezielte Laborexperimente zur detaillierten Erfassung der einzelnen Einflußgrößen anzustreben.

Im einzelnen stehen als Aufgaben an:

- Erarbeitung flächendeckender Angaben über die Raten der Deposition, Akkumulation und des Austrags an Schadstoffen in repräsentativen Böden
- Schadstoffeintrag in Industrie- und Ballungsgebieten im Vergleich zu industriefernen ländlichen Zonen
- Modelle zur Vorhersage des Verbleibs von Umweltchemikalien nach der Deposition.

b) Mobilität und Stoffumwandlung von Umweltchemikalien im Boden — Techniken zur Verbesserung belasteter Böden

Was mit Umweltchemikalien im Boden geschieht, hängt einerseits von den physikalisch-chemischen

Eigenschaften der Umweltchemikalien, andererseits aber von den Filter-, Puffer- und Transformationseigenschaften sowie von den äußeren Standortfaktoren (insbesondere Niederschlag, Temperatur) der Böden ab. Unterschiedliche Mechanismen werden dabei wirksam: Herausfiltern von partikelförmigen Substanzen in Abhängigkeit vom Porensystem der Böden, Fixieren von Umweltchemikalien durch Anlagerungs- und Fällungsreaktionen sowie Abbau, Transformation und Metabolismus durch chemische und mikrobielle Prozesse. Zudem können Umweltchemikalien die Ionenkreisläufe im Boden mit der Folge von z. B. pH-Verschiebungen, Nährstoffauswaschung, Schadstoff-Freisetzung beeinflussen.

Auf diese Prozesse hat die Bewirtschaftung des Bodens einen erheblichen Einfluß, so daß neben den intensiv genutzten und bearbeiteten landwirtschaftlichen Nutzflächen die ungestörten Bodenabläufe in anderen Bereichen (Wiesen, Wald und Dauerbrache) untersucht werden müssen. Dabei ist auch in Betracht zu ziehen, daß der Standort Boden aus kleinräumigen Strukturen besteht, in denen unmittelbar nebeneinander z. B. anaerobe und aerobe Verhältnisse herrschen können. Deshalb müssen die Beziehungen zwischen den Bodeneigenschaften und der Persistenz und Bindung von Umweltchemikalien in ihrer Bedeutung für die biologische Verfügbarkeit untersucht werden. Erst auf der Basis dieser Untersuchungen sind Aussagen zu möglichen Veränderungen sowie zur Belastbarkeit des Bodens möglich, wie andererseits auch Techniken zur Dekontamination und Bodenverbesserung mit entwickelt werden können.

Im einzelnen stehen als Aufgaben an:

- Untersuchungen zur Mobilität der Schadstoffe (Adsorption, Desorption, Bindungs-/Fixierungsmechanismen, Wanderung, Auswaschung, Grundwasserbelastung und Abgabe von flüchtigen Verbindungen an die Atmosphäre)
- Einfluß von Umweltchemikalien auf physikalische, chemische und biologische Parameter des Bodens
- Untersuchungen zur Umwandlung organischer Verbindungen im Boden (Metabolitenbildung, Einbau in die organische Substanz des Bodens)
- Techniken der Verbesserung oder Dekontamination belasteter Böden.

c) Biologische Verfügbarkeit von Umweltchemikalien im Boden

Die biologische Wirksamkeit von Umweltchemikalien wird weitgehend durch die unter b) beschriebenen Prozesse bestimmt. Sie steht in engem Zusammenhang mit dem Gleichgewicht zwischen dem Anteil an den in der Bodenlösung frei beweglichen Umweltchemikalien und deren fixiertem Anteil im Boden, so daß Bodenflora und -fauna und damit auch die Nutzpflanzen als Glied in der menschlichen Nahrungskette durch Aufnahme von Umweltchemikalien belastet werden können. Es ist deshalb vorrangig zu untersuchen, welche Schadstoffkon-

zentrationen zu einer Veränderung von Standorten und einer Beeinträchtigung der Ertragsfähigkeit von Kulturböden sowie einer Belastung der Nahrungs- und Futterkette führen.

Neben der Direktaufnahme von Umweltchemikalien über das Blatt spielt der Übergang aus dem Boden in die Pflanze eine erhebliche Rolle. Deshalb müssen die Prozesse der biologischen Verfügbarkeit von Chemikalien im Boden gesondert beachtet werden.

Im einzelnen stehen folgende Aufgaben an:

- Aufnahme von Umweltchemikalien durch Mikroorganismen und wichtige Makroorganismen des Bodens
- Aufnahme und Akkumulation von Umweltchemikalien durch Pflanzen sowie ihre Verlagerung innerhalb der Pflanzen, Auswirkungen auf die Pflanzen und ökonomische Folgen
- Langzeitstudien zur biologischen Verfügbarkeit, Aufnahme und Umwandlung von im Boden gebundenen Umweltchemikalien.

3.2 Wirkungen von Luftverunreinigungen auf Wälder und andere Ökosysteme

3.2.1 Ausgangslage

Aufgrund der sich schon 1981 abzeichnenden alarmierenden Entwicklung bei den Waldschäden hat das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten zusammen mit den Ländern im Jahr 1982 eine Schadenserhebung für das ganze Bundesgebiet durchgeführt. Diese erste offizielle Erhebung hat als zusammengefaßtes Ergebnis erbracht, daß 7,7% der gesamten Waldbestände (Stand: 1982) geschädigt waren. Die detaillierten Zahlen zeigten, daß die Schäden im gesamten Bundesgebiet auftreten. Die Mittelgebirge sind überdurchschnittlich betroffen. Nach dieser Erhebung sind aus nahezu allen Ländern zahlreiche neue Schadensmeldungen fortlaufend eingetroffen, die schon bald auf ein rasches Fortschreiten der Schäden hindeuteten und durch die Ergebnisse der zweiten bundesweiten Erhebung im Herbst 1983 voll bestätigt wurden.

Nach diesen Ergebnissen umfaßt die geschädigte Waldfläche 1983 insgesamt 2,5 Mio. ha, entsprechend ca. 1 Drittel der Gesamtwaldfläche. Das *Schweregewicht der Schädigung* liegt mit 1,8 Mio. ha (= 75% der Waldfläche) in der schwächsten Schädigkategorie (Stufe 1). Mittlere Schäden (Stufe 2) wurden auf 0,6 Mio. ha festgestellt und 64 000 ha sind sehr stark geschädigt.

Bezogen auf die *Baumarten* entfallen die größten Schäden auf Fichten, Kiefern und Tannen. Insgesamt geringer sind die Schäden an den Laubbaumarten, wobei sich die größten Schäden bei den Buchen ergeben.

Der in den letzten Jahren beobachtete Krankheitsverlauf läßt ein Zusammenwirken verschiedener

Ursachen vermuten, wobei Schwefeldioxid- und Stickoxid-Emissionen eine besondere Rolle zugemessen wird. Neben dem Einfluß von Luftschadstoffen (insbesondere Schwefeldioxid, Stickoxide, Schwermetalle, Photooxidantien) können auch natürliche Schadfaktoren (Pilze, Schädlinge) sowie Klima- und Standorteinflüsse mitbestimmend sein für das Auftreten und die Ausprägung der Schäden. Das Gewicht der einzelnen Einflüsse ist entsprechend den unterschiedlichen Bedingungen an jedem Standort verschieden, so daß jeder Einfluß unter bestimmten Bedingungen einen mehr oder weniger entscheidenden Anteil an der Auslösung und an dem Ausmaß der Schädigung haben kann. Die schädigenden Wirkungen der Luftverunreinigungen sind nicht allein auf die Wälder begrenzt. Auch andere Ökosysteme, insbesondere aquatische Systeme, werden in Mitleidenschaft gezogen.

3.2.2 Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen

Einfache Schlüsselexperimente, die alle Fragen und Hypothesen mit einem Schlag beantworten könnten, gibt es nicht. Denn selbst das Reproduzieren des Schadbildes im Labor bildet noch keinen Beweis für die Richtigkeit einer der Theorien, weil der gleiche Effekt von mehreren Schadfaktoren hervorgerufen werden kann.

Ansätze zur Klärung der Ursachen- und Wirkungszusammenhänge bei lufteingetragenen Schadstoffen müssen daher von mehreren prinzipiell unterschiedlichen Wirkungsweisen ausgehen. Zum einen wird eine Destabilisierung der Ökosysteme als Folge einer Bodenversauerung angenommen, mit der Schäden am Feinwurzelsystem in Zusammenhang stehen. Zur Versauerung tragen sowohl Schwefel- und Stickstoffverbindungen als auch bei bestimmten Waldböden je nach Standortbedingungen, Baumarten und Nutzung unterschiedliche bodenimmanente Vorgänge bei. Neuere Ergebnisse weisen darauf hin, daß beim Versauerungsvorgang des Bodens durch Aluminium- und möglicherweise auch Manganionen-Freisetzung toxische Effekte an den Wurzeln ausgelöst werden können. Zusätzlich kann die Versauerung auch die Organismen beeinträchtigen, die im Boden am Kreislauf der Nährstoffe beteiligt sind, der sogenannten Zersetzerkette. Eine Anreicherung der Schwermetalle durch fortgesetzten Eintrag führt gleichfalls zu einer Belastung des Bodens und schließlich zur Schädigung der Pflanzen.

Daneben wird eine direkte Schädigung der Assimilationsorgane (Nadeln und Blätter) durch Schwefeldioxid, Stickoxide und ihre Folgeprodukte, allein oder in Kombination angenommen. Infolge einer Vorschädigung der Kutikula, d. h. der Wachsschicht auf den Blattoberflächen, und durch die Störung der Stomatafunktion (Gasaustausch der Blätter) wird eine verstärkte Auswaschung von Blattinhaltsstoffen möglich. Davon sind vor allem Magnesium, Calcium und Spurenelemente betroffen. *Damit werden der interne Nährstoffhaushalt, aber auch die Photosynthese empfindlich gestört.* Eine verminderte Photosynthese hat aber eine allge-

meine Wachstumsabnahme und auch eine schlechtere Versorgung der Wurzeln mit Nährstoffen zur Folge, was zur Wurzelrückbildung führt. Zusätzlich zur direkten Schädigung ist auch eine Wechselwirkung zwischen einer die Blatt/Nadeloberfläche angreifenden Einwirkung und dem Einwirken säurehaltiger Niederschläge in Betracht zu ziehen.

Ergänzend wird Fragen nach möglichen biotischen Schadfaktoren nachgegangen, sowie ggf. weiteren Hypothesen, sofern sie plausibel begründet und experimentell überprüfbar sind.

3.2.2.1 Bisherige Förderungsschwerpunkte

Mit Beginn des Jahres 1983 wurde die Förderung dieses Bereiches erheblich intensiviert. Dabei wurden die verschiedenen Ansätze zur Wirkungsfor-schung zu einem standortorientierten Gesamt-Forschungsprogramm vereinigt und Arbeitsgruppen zur interdisziplinären Kooperation auf ausgewählten Untersuchungsflächen zusammengeführt. Die auf vier Fallstudien (regionale Schwerpunkte) „Norddeutsches Mittelgebirge, Schwarzwald, Bayerischer Wald und Fichtelgebirge“ und ergänzende luftchemische Untersuchungen konzentrierten Vorhaben schließen Untersuchungen über die Reaktion einzelner Bäume als Rezeptor wie auch die der übrigen Bestandteile des Ökosystems Wald ein.

Die Anstrengungen zur Intensivierung der Forschungsarbeiten sind eingebunden in das übergreifende Aktionsprogramm „Rettet den Wald“ der Bundesregierung sowie in ein zwischen Bund und Ländern abgestimmtes Koordinierungskonzept, das gewährleistet, daß zielgerichtet den wichtigsten Fragestellungen nachgegangen und der Kenntnisstand konsequent ausgebaut wird.

3.2.2.2 Zukünftige Aufgaben

Soweit derzeit erkennbar, sind ergänzende Forschungsarbeiten noch in folgenden Themenbereichen durchzuführen:

a) Schadstoffeintrag

Das Spektrum der Depositionsmessungen bedarf noch der Erweiterung auf andere potentielle Schadstoffe, vor allem der organischen Verbindungen. Hierbei müssen erst noch Screening-Techniken erprobt und verbessert bzw. chemisch-analytische Methoden weiterentwickelt werden. Die wirklich auftretenden Depositionsraten (getrennt für feste und flüssige Anteile) sind weitgehend unbekannt, ebenso auch, welche chemischen Verbindungen tatsächlich deponiert werden. Erforderlich sind eine erhöhte Zahl von Meßstellen (bezogen auf die Situation in den Wäldern sind solche Meßstellen in die übrigen vom BMFT geförderten Forschungsarbeiten an ausgewählten Standorten bereits integriert worden) zur Feststellung der Deposition in Verbindung mit Meßstellen für die Immissionssituation.

b) Schadenserfassung

Im Bereich der Methodenverfeinerung und -adaption vorhandener Fernerkundungstechniken sind

weitere Arbeiten erforderlich, da hier speziell bei der Interpretation noch Schwierigkeiten bestehen.

c) Pflanzenphysiologie

Die Untersuchungen über physiologische Reaktionen (z. B. Veränderungen im Stickstoff- und Schwefel-Haushalt, Mineralstoffhaushalt, Haushalt der Phytohormone) müssen eine Aufschlüsselung von natürlichen und vom Menschen verursachter Belastungen zum Ziel haben.

d) Ausbreitung und Umwandlung von Luftschadstoffen

Bei den Stickoxiden ist noch wenig über die Reaktionszyklen, über Umwandlungs- und Zwischenprodukte, über das relative Gewicht verschiedener Reaktionspfade bekannt. Weitgehend fehlen auch Kenntnisse über die räumliche Verteilung von Schadstoffen einschließlich ihrer Konzentrationsprofile in Abhängigkeit von der Höhe. Zu klären ist, ob nicht neben den bislang fast ausschließlich betrachteten Schwefeldioxid und Stickoxiden samt ihrer Folgeprodukte (einschließlich Ozon und PAN) auch andere organische Verbindungen, ggf. durch Reaktion der genannten Schadstoffe mit den von Bäumen emittierten Kohlenwasserstoffen, in Konzentrationen auftreten, die phytotoxische Wirkungen entfalten. Bislang weitgehend unbekannt sind die physikochemischen Prozesse in Wolken, die Wechselwirkung atmosphärischer Spurenstoffe in flüssiger und fester Phase.

e) Ökologische Folgen

Beim jetzigen Stand des Wissens können nur Hypothesen qualitativer Natur über ökologische Folgen von Waldschäden größeren Ausmaßes aufgestellt werden. Im Teilbereich „terrestrische Ökosysteme“ der bisherigen Förderung liegen Ansatzpunkte für eine Untersuchung derartiger Fragestellungen vor. Zu erwarten sind Auswirkungen auf den Wald als Rohstoffquelle (Verminderung der Holzqualität, Folgeschäden durch Parasitenbefall etc.), auf die Schutzwirkungen des Waldes (Samm-lung, Speicherung und Filterung von Grund- bzw. Oberflächenwasser, Schutz des Bodens vor Erosion, Regionalklima), auf Flora und Fauna (Verarmung an Populationen oder Aussterben von Arten) und die Bedeutung als menschlicher Erholungsraum.

Ergänzend zu den Untersuchungen im Hinblick auf die Ursachen der Waldschäden müssen auch die Wirkungen von Luftverunreinigungen in anderen Ökosystemen verstärkt erforscht werden.

3.3 Marine Ökosysteme

3.3.1 Ausgangslage

Der bestehende Förderschwerpunkt der Reinhaltung des Meeres hat im Hinblick auf die Gefahren für die Lebewesen im Meer in keiner Weise an Aktualität verloren.

Neben großflächigen Meeresverschmutzungen bei Tankerunfällen oder Erdöl- und Erdgasausbrüchen bei Offshorebohrungen gehen vor allem vom kontinuierlichen Schadstoffeintrag von Land aus über die Flüsse und die Atmosphäre, aber auch von unerlaubten Einleitungen durch die Schifffahrt nachteilige Wirkungen auf das Meer aus. Die gezielte Lösung akuter Fragen der Meeresverschmutzung setzt eine Analyse der marinen Ökosysteme, insbesondere ihrer Anpassungs- und Regenerationsmechanismen voraus, aber auch die Entwicklung und Anwendung von Verfahren zur Überwachung der Umweltsituation und zur Verhütung und Bekämpfung der Meeresverschmutzung. Nur so kann der aus der Einleitung von Schadstoffen entstehende Konflikt in der Nutzung der Küstenregionen und Flußmündungsgebiete als Siedlungs- und Erholungsraum, Fischereigebiet, Naturschutzgebiet und Vorfluter für Abwässer entschärft werden.

3.3.2 Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen

Große Schwierigkeiten bereitet der Nachweis der kausalen Zusammenhänge zwischen Schadstoffeintragung und biologischen Schädigungen. Neben starken Schwankungen der natürlichen Umweltparameter (wie zeitweises Austrocknen, Lichtintensität, Temperatur, Eisgang) kommt bei derartigen Untersuchungen erschwerend hinzu, daß die Organismen auf Streßsituationen in der Regel mit unspezifischen Kompensationsmechanismen reagieren. Untersuchungen über die Auswirkungen von Veränderungen der Umwelt auf ein Ökosystem, z. B. der Einfluß von Schadstoffen auf die Organismenzusammensetzung, werden in der Regel experimentell durchgeführt, da für gesicherte Ergebnisse Kontrollversuche unabdingbar sind.

3.3.2.1 Bisherige Förderungsschwerpunkte

Die bisherige Forschung hat als Folge stetig voranschreitender Methodenentwicklung auf vielen Gebieten Analyseverfahren entwickelt, mit denen Aussagen über Transport und Verbleib von Schadstoffen und deren Toxizität weitgehend routinemäßig möglich sind. Im Vordergrund standen bis jetzt Arbeiten:

- zum Schutz der marinen Tier- und Pflanzenwelt durch Erforschung der Ökosysteme und Analysen zur Überwachung der Meeresverschmutzung
- zur Untersuchung des Verbleibs von Schadstoffen
- zur Analyse von Schadstoffen in Meeresorganismen
- Physikalisch-chemische Meßprogramme
- Biologische Bestandskontrollen.

3.3.2.2 Zukünftige Aufgaben

Im Vordergrund steht eine mehr zusammenschauende Arbeitsweise mit dem Ziel, Zusammenfassun-

gen der Ergebnisse und Atlanten herzustellen, welche für regionale Entscheidungen der Landschaftsplanung im Küstenbereich, der Ressourcenpolitik und der Bekämpfungsstrategie bei Ölnfällen erforderlich sind. Ferner ist eine Bilanzierung der Schadstoffeinträge über die Atmosphäre und die Flüsse erforderlich. Die bisherigen Förderungsschwerpunkte mit Untersuchungen über Quellen, Wege und Verbleib von Schadstoffen im marinen System und ihre Wirkungen müssen verstärkt fortgeführt werden. Dies geschieht im Rahmen des Gesamtprogramms Meeresforschung und -technik (Einzelheiten siehe dort).

3.4 Atmosphärische Stoffkreisläufe und Klima

3.4.1 Ausgangslage

In jüngster Zeit ist von Wissenschaftlern verstärkt vor möglichen Klimaänderungen und den daraus resultierenden Auswirkungen auf die Menschheit gewarnt worden. Die in den letzten Jahren verschiedentlich aufgetretenen extremen klimatischen Erscheinungen haben auch verstärktes öffentliches Interesse für die Fragestellungen ausgelöst. Diese extremen Klimawerte liegen zwar innerhalb der natürlichen Schwankungsbreite, haben aber dennoch wegen ihrer wirtschaftlichen und sozialen Auswirkungen Besorgnis hervorgerufen.

Mögliche zukünftige Klimaänderungen können natürlichen Ursprungs oder Folge anthropogener Einflüsse auf das Klimasystem sein. Die anthropogenen Einflüsse wirken sich vor allem auf die Oberflächeneigenschaften der Erde, Veränderungen der Zusammensetzung der Atmosphäre und die direkte Wärmezufuhr aus.

Die Bundesregierung hat daher 1982 ein Klimaforschungsprogramm verabschiedet, das einen Beitrag sowohl zur Lösung der weltweiten Klimafragen als auch der Klimaprobleme in unserem Land leisten soll. Es zielt darauf ab, die Bedeutung anthropogener Einflüsse bei evtl. Klimaänderungen zu ermitteln. Die möglichen Wirkungen für die Lebensbedingungen der Menschen sollen mit den zu erwartenden wissenschaftlichen Erkenntnissen abgeschätzt werden. Die Schwerpunkte des Klimaforschungsprogramms, das die Aktivitäten der zuständigen Bundesressorts und der Deutschen Forschungsgemeinschaft umfaßt, liegen auf folgenden Gebieten:

- Paläoklimatologische und historische Klimaforschung
- Wechselwirkungen zwischen Biosphäre und Klima sowie Fragen des Gesamtsystems aus Atmosphäre, Ozean, Kryosphäre, Landmassen und Biosphäre
- Großräumige Beobachtungen (mit Satelliten, Flugzeugen, Expeditionen, Bojen, Schiffen)
- Datennachweis, Datenkoordinierung, internationaler Datenaustausch

- Regionalklimaänderungen und Folgen von Klimaänderungen
- Erforschung des regionalen Klimas in der Bundesrepublik Deutschland
- Koordinierung der Klimaforschung und internationaler Erfahrungsaustausch.

Die Beiträge der Umweltforschung zum Klimaprogramm werden im folgenden eingehender dargestellt.

3.4.2 Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen

Die Belastung der Atmosphäre mit Schadstoffen ist ein bedeutender Eingriff des Menschen in seine Umwelt. In den letzten Jahren ist offenkundig geworden, daß durch menschliche Aktivitäten Störungen des natürlichen physikalisch-chemischen Systems der Atmosphäre hervorgerufen werden können. Als schwerwiegendste Wirkung atmosphärischer Spurenstoffe kommt es zu einer Beeinflussung der Strahlungsbilanz und daraus resultierend zu einer Klimabeeinflussung. Atmosphärische Stoffe wie z. B. CO_2 , H_2O , Ozon und Aerosole üben einen direkten Einfluß auf die Strahlungsbilanz aus, ein indirekter Einfluß liegt bei Spurenstoffen wie NO_x , CO, halogenierten Kohlenwasserstoffen vor, die zum Abbau der Ozonschicht beitragen können. Hier gilt es, durch experimentelle Untersuchungen und Anwendung von Simulationsmodellen die ablaufenden Reaktionsketten und miteinander vernetzten Kreisläufe aufzuklären, um zu einem vertieften Verständnis dieser Vorgänge zu gelangen.

3.4.2.1 Bisherige Förderungsschwerpunkte

Im Vordergrund der Aktivitäten der letzten Jahre stand die Aufklärung der durch Fluorchlorkohlenwasserstoffe ausgehenden Gefährdung durch einen möglichen Abbau des Ozonschildes mit der Folge einer erhöhten Einstrahlung von UV-Licht. Hier haben die Förderungsmaßnahmen dazu beigetragen, eine größere Sicherheit in der Gefahrenabschätzung zu erlangen: der Ozonabbau allein durch Fluorchlorkohlenwasserstoffe wird heute auf ca. 5 bis 8% in 100 Jahren geschätzt. Vor einigen Jahren wurden noch wesentlich höhere Werte angenommen.

3.4.2.2 Zukünftige Aufgaben

Die Aufgabe der ökologischen Forschung besteht darin, die zunehmende Belastung der Atmosphäre mit Schadstoffen und deren Reaktionen und Umwandlungsprodukte aufzuklären. Gefahren, die sich daraus ergeben könnten, müssen auf der Grundlage fundierter Vorhersagen über mögliche Folgen abschätzbar werden. Dafür ist es notwendig, die Kenntnisse über die Stoffkreisläufe dieser Schadstoffe zu verbessern sowie die verschiedenen Wechselwirkungen zu analysieren.

Künftige Schwerpunkte der Förderung sind daher:

- Messung der vertikalen und horizontalen Verteilung von Spurengasen:
 - Ballon- und Flugzeugmessungen zur gleichzeitigen Bestimmung der vertikalen und horizontalen Verteilung von Spurengasen, Radikalen, Ionen und/oder Aerosolen in Troposphäre und Stratosphäre
 - Beeinflussung des Strahlungsflusses durch Aerosole, Bestimmung der Größenverteilung und Brechungsindex.
- Verbesserung der analytischen Meßmethoden und reaktionskinetische Untersuchungen:
 - Eichung und Vergleichsmessung von verschiedenen Ozon-Meßgeräten, Langzeitmessung der Ozonkonzentration in der oberen Troposphäre und Stratosphäre
 - Bestimmung chemischer und photochemischer Reaktionskonstanten bei den relevanten Temperatur- und Druckverhältnissen, Messung von Absorptionsspektren, Bestimmung von Quantenausbeuten und Reaktionsprodukten.
- Untersuchung der biologischen Folgen einer schadstoffbelasteten Atmosphäre:
 - Dosis-Wirkungs-Beziehungen einer verstärkten UV-B-Einstrahlung auf Pflanzen; Charakterisierung von Adaptions- und Schutzmechanismen; Auswirkungen der Streißbedingungen auf Wuchs, Inhaltsstoffe und Erträge.

3.5 Umweltchemikalien in Nahrungs- und Futtermitteln

3.5.1 Ausgangslage

Unter dem Begriff „Umweltchemikalien“ werden sowohl die bei der Produktion und nach ordnungsgemäßem Gebrauch als auch die unkontrolliert in die Umwelt gelangenden organischen bzw. anorganischen Chemikalien zusammengefaßt. Die teilweise hohe chemische Stabilität von Umweltchemikalien und deren hoher Verteilungsgrad führt zwangsläufig zum Auftreten dieser Schadstoffe in geringen Konzentrationen in Nahrungs- und in Futtermitteln. Die mit der täglichen Kost aufgenommenen Mengen an Schadstoffen führen allerdings nur in Ausnahmefällen zu nachweisbaren Gesundheitsschädigungen. Erst wenig geklärt ist, inwieweit die stetige Aufnahme von geringen Schadstoffmengen über einen langen Zeitraum u. U. in Kombination mit anderen Belastungen langfristig zu einer Gesundheitsschädigung führt.

Gesundheitsschädigende Verunreinigungen von Lebensmitteln können auch durch Emissionen, z. B. durch blei- oder cadmiumhaltige Stäube entstehen, ebenso durch übermäßigen Einsatz von landwirtschaftlichen Hilfsstoffen. Die Höhe des Gehaltes dieser landwirtschaftlichen Hilfsstoffe in Lebensmit-

teln und Futtermitteln wird durch schwer kalkulierbare und kaum steuerbare physikalisch-chemische und biologische Vorgänge bestimmt. Es ist davon auszugehen, daß die Gehalte dadurch sehr großen Schwankungen unterliegen.

Am Beispiel langsam abbaubarer Stoffe wie z. B. polychlorierter Biphenyle hat sich gezeigt, daß in die Umwelt entlassene Chemikalien in die Nahrungskette eingehen und sich dort anreichern können. Diese Vorgänge sind eng mit der Frage der Bioakkumulation verknüpft, wobei die Bioakkumulation zunächst nur ein Glied betrifft, die Anreicherung in Nahrungsketten sich jedoch über mehrere Glieder und Querverbindungen eines ganzen Ökosystems erstreckt.

3.5.2 Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen

3.5.2.1 Bisherige Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen

Bei den bisherigen Untersuchungen zu diesem Themenkreis sind vor allem analytische Untersuchungen qualitativer und quantitativer Art erarbeitet bzw. durchgeführt worden mit dem Ziel, über das Auftreten bestimmter Einzelsubstanzen bessere Kenntnisse zu erhalten. Diese Arbeiten standen meist in engem Zusammenhang mit den notwendigen Forschungsarbeiten für die Zulassung bzw. Überwachung von bestimmten Substanzen im Rahmen des Lebensmittelgesetzes, des Arzneimittelgesetzes oder des Pflanzenschutzgesetzes und der Zusammenarbeit für das Chemikaliengesetz.

3.5.2.2 Zukünftige Aufgaben

Zukünftige Forschungsarbeiten werden vor allem Fragen nach einer Abschätzung des Gesamtrisikos für die Bevölkerung durch alle Umweltchemikalien in Nahrungs- und Futtermitteln im Sinne einer umfassenden und systematischen Erfassung zum Ziel haben. Hierbei gilt es vor allem, Methoden und Verfahren zu entwickeln, die sich zur langfristigen Trenderkennung der Schadstoffbelastung und der daraus resultierenden Gesundheitsschädigung eignen.

Des weiteren fehlen ergänzende Untersuchungen über den Weg von Industriechemikalien in die Umwelt und weiter in Lebensmittel und Futtermittel. Insbesondere sind Untersuchungen über die Verteilung und mögliche Anreicherung von Schadstoffen in Nahrungs- und Futtermitteln sowie über ihre chemische Veränderung bei der weiteren Verarbeitung in Abhängigkeit von ihren physikalischen und chemischen Stoffeigenschaften durchzuführen.

3.6 Grenzwerte und Bewertung der Belastung des Menschen und ökologischer Systeme

3.6.1 Ausgangslage

Der Zusammenhang zwischen der aufgenommenen Menge der Schadstoffe und einer korrespondierenden Wirkung beim Menschen ist häufig nur schwer

festzustellen. Toxikologische Untersuchungen einschließlich der Prüfungen auf Mutagenität, Karzinogenität und Teratogenität werden daher im Tier und in der Regel mit weitaus höheren Schadstoffkonzentrationen durchgeführt. Die Übertragung dieser Ergebnisse auf den Menschen ist jedoch häufig umstritten, insbesondere die Übertragung der gefundenen Dosis-Wirkungsbeziehungen sowie die ungefährlichen Schwellenkonzentrationen. Diese Unsicherheit in der Bewertung einer Langzeitexposition mit relativ geringen Schadstoffmengen beruht weiterhin darauf, daß zumeist nur ungenügende Kenntnisse über den Wirkungsmechanismus der Substanzen im Versuchstier bzw. im in vitro-Testsystem im Vergleich zum Menschen vorliegen und auch die zelluläre Reaktion des betreffenden Organismus unbekannt ist.

Die Untersuchungen betreffen jedoch nicht nur den Menschen unmittelbar, sondern auch die Ökosysteme als funktionelle Einheiten aus Organismen und unbelebter Umwelt. Eine Verarmung von Ökosystemen an vielfältigen Lebensgemeinschaften führt dabei meistens zu einer größeren Störanfälligkeit dieser Systeme. Mit dem Aussterben von Arten ist zugleich ein Verlust an genetischer Vielfalt und an Bioindikatoren verbunden.

3.6.2 Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen

Die Intensivität der menschlichen Einflußnahme auf die Ökosysteme erfordert gezielte Forschungsaktivitäten, um die einzelnen Schadstoffwirkungen zu erkennen und vor allem die daraus resultierenden Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Elementen eines Ökosystems zu erfassen. Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse ist es dann möglich, schädigenden Einflüssen in Ökosystemen entgegenzuwirken.

Für die Bewertung der Ökotoxizität von Chemikalien ist es auch erforderlich, die Wirkung bei ökologischen Teilsystemen und deren Belastung sowie Belastbarkeit im globalen Rahmen zu erfassen.

Über die funktionalen Zusammenhänge und Regulationsmechanismen in Ökosystemen bestehen wegen der Vielfalt der Erscheinungsformen nur unzureichende Kenntnisse. Zudem sind vorhandene Daten nur lückenhaft, von sehr heterogener Natur und oft nicht miteinander vergleichbar. Dies erschwert erheblich die Erfassung und Bewertung von Belastungskomponenten. Ökologische Grundlagenforschung zur Differenzierung der Begriffe „Belastung“ und „Belastbarkeit“ von Ökosystemen und zu den Auswirkungen nicht-chemischer Streßfaktoren ist daher notwendig.

Für die Klärung der Wirkung von Schadstoffen auf den Menschen ist das Aufzeigen allgemeingültiger Zusammenhänge für die Übertragbarkeit tierexperimenteller Befunde auf den Menschen die entscheidende Voraussetzung für eine zuverlässige Bewertung einer Exposition des Menschen mit Schadstoffen.

3.6.2.1 Bisherige Förderungsschwerpunkte

Bislang sind zur Prüfung von Chemikalien auf toxische Wirkungen sowie auf Karzinogenität, Mutagenität und Teratogenität vor allem solche FuE-Arbeiten gefördert worden, die zum Ziel haben, Methoden zu entwickeln, mit denen die Potenz einer chemischen Substanz zur Erzeugung von malignen Tumoren, Mutationen und Mißbildungen möglichst schnell, einfach und sicher feststellbar ist. Bezüglich der Bilanzierung von chemischen Stoffen wurde besondere Aufmerksamkeit den Fragestellungen nach der Toxizität, Persistenz, Abbaubarkeit und Akkumulation sowie Verlagerung innerhalb und zwischen verschiedenen Umweltbereichen gewidmet. Spezifische Veränderungen der Morphologie der betroffenen Zellen oder Funktionen sowie Korrelationen zwischen mutagenen und karzinogenen Primärereignissen in der Zelle sind weitere Schwerpunkte der geförderten Arbeiten.

Im Hinblick auf die Wirkungen auf ökologische Systeme befassen sich die laufenden Forschungsvorhaben mit dem Verhalten und der Wirkung von Chemikalien. Das Spektrum der geförderten Arbeiten schließt Untersuchungen ein, die die wissenschaftlichen Grundlagen für Prüfmöglichkeiten und Teststrategien erarbeiten, und die der Verbesserung, Standardisierung und statistischen Absicherung von ökotoxikologischen Methoden dienen. Um die Einsatzmöglichkeiten der Testmethoden zu prüfen und eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erreichen, werden Referenzchemikalien eingesetzt. Dabei ergeben sich auch Hinweise auf Zusammenhänge zwischen den physikalisch-chemischen Stoffeigenschaften und dem Verhalten in der Umwelt. Untersuchungen über ökologische Systeme in ihrem „natürlichen“ Zustand befassen sich vor allem mit Bestandserhebungen, der Populationsdynamik und der Klärung von Gefährdungsfaktoren.

3.6.2.2 Zukünftige Aufgaben

Die bisherigen Untersuchungen zur ökotoxikologischen Wirkung von Umweltchemikalien zeigen, daß die Informationen über die Funktionsweise von Ökosystemen lückenhaft und die Testmethoden zur Überprüfung der Umweltgefährlichkeit von Chemikalien noch nicht in allen Bereichen genügend entwickelt sind. Neben der anwendungsbezogenen Forschung, etwa über Indikatoren für eine frühzeitige Bewertung der Belastbarkeit ökologischer Systeme, erscheinen daher auch grundlegende Arbeiten zu Aufbau, Stabilität und Regenerationsfähigkeit von Ökosystemen (z. B. Flächenanspruch überlebensfähiger Ökosysteme, Typisierung und Bilanzierung von Schadeinflüssen und deren Verursachern, Schutzmaßnahmen) erforderlich. Dazu gehören Arbeiten zu Stoff- und Energieumsatz, Nahrungsketten, Nahrungsnetzen und Biomassestrukturen in Ökosystemen. Aufbauend auf diesen ökologischen Basisinformationen sollen dann Modellökosysteme mit mindestens zwei Nahrungskettenstufen und einer übersehbaren Artenzahl entwickelt werden. Ausgewählte Referenzchemikalien, über die umfas-

sende Informationen bereits vorliegen, sollen dann gezielt in die Testökosysteme eingebracht werden, um Reaktionen und Belastbarkeit zu überprüfen.

Bei den künftigen Forschungsarbeiten zur Ökosystemforschung werden folgende Themenschwerpunkte bearbeitet:

- Suche nach Indikatoren zur frühzeitigen Bewertung der chemischen und nicht-chemischen Belastbarkeit von Ökosystemen
- grundlegende Untersuchungen an Ökosystemen mit dem Ziel, Modellökosysteme u. a. für die Chemikalienprüfung zu erstellen (auch Teilausschnitte)
- Möglichkeiten der Risikobewertung von Chemikalien auf der Basis der Summe der Testergebnisse
- Ermittlung kritischer Faktoren und Umstände im Arten- und Biotopschutz zur Überlebenssicherung von Tier- und Pflanzenarten
- Entwicklung von Indikatoren zur fortlaufenden Beobachtung der ökologischen Umweltsituation
- Möglichkeiten ökosystemschonenden Wirtschaftens insbesondere in landwirtschaftlich genutzten Bereichen.

Zur Verbesserung des Kenntnisstandes über die gesundheitsschädigende Wirkung einer Belastung des Menschen, vor allem mit niedrigen Konzentrationen einzelner oder mehrerer Schadstoffe und der dabei auftretenden synergistischen Wirkungen und zur Erarbeitung von generellen Bewertungskriterien der Schadstoffbelastungen sind folgende Arbeiten, insbesondere im molekular-biologischen und immunologischen Bereich, erforderlich:

- Mechanismen der Schadstoffwirkung in biologischen Systemen,
- zelluläre und subzelluläre Reaktionen auf die Schadstoffwirkung im Hinblick auf Schwellenwerte,
- Ursachen für speziesabhängige Unterschiede der Schadstoffwirkung,
- Erarbeitung von Grundlagen zur Bewertung einer Exposition mit gleichzeitig mehreren Schadstoffen und
- Entwicklung einfacher Verfahren zur Untersuchung der genannten Parameter.

B. Methodik und Modellentwicklung

3.7 Analytik und Bilanzierung von chemischen Stoffen in der Umwelt

3.7.1 Ausgangslage

Es ist eine wichtige Aufgabe, die Kenntnisse über die Verbreitung und Eigenschaften von Umweltche-

mikalien und ihre Wirkungen auf Mensch, Tier und Pflanze zu vertiefen und damit die chemische Belastung der belebten und unbelebten Natur beurteilen zu können. Dazu gehören Untersuchungen über Quellen, Ausbreitung und Verbleib von Schadstoffen, denn nur auf der Basis der Kenntnis der Verteilungswege und der Veränderungen von Stoffen sind Vorschläge für Verbesserungen und Maßnahmen für die Bewahrung einer intakten Umwelt im Sinne einer langfristigen Vorsorge möglich.

3.7.2 Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen

Bei der Klärung, ob eine Gesundheitsgefährdung des Menschen durch Chemikalien in seiner Umwelt gegeben ist, sind kurzfristige Expositionen mit hohen Konzentrationen meist als weniger problematisch anzusehen. Wegen der bestehenden vielfältigen Schutzvorschriften können sie in der Regel nur bei Unfällen eintreten. Dagegen bestehen noch Kenntnislücken bei Aufnahme und Wirkung geringer Mengen von Schadstoffen über einen langen Zeitraum. Ein besonderes Problem ergibt sich bei der Bewertung einer gleichzeitigen Exposition mit mehreren Schadstoffen in niedrigen Konzentrationen. Der Zusammenhang zwischen der aufgenommenen Menge der Schadstoffe und einer korrespondierenden Wirkung beim Menschen ist häufig nur schwer festzustellen. Die Unsicherheit in der Bewertung einer Langzeitexposition mit relativ geringen Schadstoffmengen und einer damit verbundenen kausalen Zuordnung der Wirkung beruht zu meist auf ungenügenden Kenntnissen über den Wirkungsmechanismus der Substanzen.

Die vom Menschen in Verkehr gebrachten Chemikalien stellen sowohl eine Gefährdung der menschlichen Gesundheit als auch der Ökosysteme dar, den funktionellen Einheiten aus Organismen und unbelebter Umwelt. Weitere Forschungsaktivitäten sind erforderlich, um die einzelnen Schadstoffwirkungen zu erkennen und vor allem die daraus resultierenden Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Bestandteilen eines Ökosystems zu erfassen.

3.7.2.1 Bisherige Förderungsschwerpunkte

Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag zunächst im wesentlichen auf Analytik und Feststellung des Vorkommens von bestimmten, schwerpunktmäßig ausgewählten Umweltchemikalien. Diese Arbeiten dienten vor allem orientierenden Methodenentwicklungen und der Erarbeitung von notwendigen Grundkenntnissen. Danach wurden schwerpunktmäßig Untersuchungen von ökologischen und medizinischen Wirkungen der von Menschen eingebrachten Stoffe und Stoffgemische durchgeführt. Insbesondere im Rahmen institutioneller Förderung an einigen Großforschungszentren wurden sowohl Austauschvorgänge zwischen den Umweltmedien Wasser, Boden und Luft als auch der Abbau bestimmter organischer Chemikalien untersucht.

Das Spektrum der geförderten Arbeiten schließt Untersuchungen ein, die im Vorfeld von Testmetho-

den die wissenschaftlichen Grundlagen für Prüfmöglichkeiten und Teststrategien erarbeiten und die auch zur Verbesserung, Standardisierung und statistischen Absicherung von ökotoxikologischen Methoden dienen.

3.7.2.2 Zukünftige Aufgaben

Im Vordergrund der zukünftigen Forschungsförderung steht die Entwicklung von Konzepten und Testverfahren, um aus der Vielzahl der potentiellen Schadstoffe diejenigen herauszufinden, die ein Risiko für Mensch und Umwelt darstellen. Durch Expositionsanalysen und die Erarbeitung von entsprechenden Bewertungskriterien sind die Grundlagen für Aussagen über das Risiko von Umweltchemikalien für die Bevölkerung zu schaffen (vgl. auch 3.3.2.2).

Folgende Fragestellungen sollen zukünftig bearbeitet werden:

- Erarbeitung von Verfahren zur Messung der quantitativen Verteilung von Chemikalien und ihrer Abbauprodukte in der Umwelt,
- Bestimmung des natürlichen Vorkommens von Stoffen in Wasser, Boden und Luft als Grundlage für die Beurteilung einer möglichen Gefährdung,
- Verteilung sowie biotischer und abiotischer Abbau von Chemikalien,
- Feststellung der Beziehung zwischen Struktur und ökologisch-chemischen Eigenschaften,
- Entwicklung von Testmethoden zur Bewertung des Umweltverhaltens von Chemikalien und ihrer Abbauprodukte,
- Risikobewertung von Chemikalien auf der Basis der Summe der Testergebnisse,
- Untersuchung der Mechanismen der Schadstoffwirkungen in biologischen Systemen und dem Menschen,
- Erarbeitung von Grundlagen zur Bewertung einer gleichzeitigen Exposition mit mehreren Schadstoffen.

3.8 Umweltprobenbank

3.8.1 Ausgangslage

Während die heute übliche Luftqualitäts- und Gewässergüteüberwachung Aussagen über den Zustand dieser beiden Umweltmedien wenigstens hinsichtlich einiger ausgewählter Parameter ermöglicht, ist über den Verbleib umweltgefährdender Stoffe in biologischem Material und im Boden und ihre Einflüsse auf den Menschen in der Regel nur wenig bekannt. Die z. Z. vorhandenen Instrumente der Umweltüberwachung können die erforderlichen Informationen zur Feststellung der Schadstoffgehalte in den Ökosystemen und in biologischem Ma-

terial nicht liefern oder die Beweismittel nicht entsprechend speichern. Ein wirksamer Schutz der Menschen und der Umwelt macht daher die gleichzeitige systematische und überregionale Erfassung von Schadstoffen in Böden, Wasser und Luft sowie in ausgewählten biologischen Proben (auch Humanproben) notwendig.

3.8.2 Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen

Der Aufbau einer Umweltprobenbank dient dazu, die Voraussetzung für wissenschaftlich gesicherte Erkenntnisse über Umweltschadstoffe zu schaffen, damit in Zukunft Maßnahmen nicht nur im wesentlichen auf dem Vorsorgeprinzip, sondern auf möglichst gesicherten Daten aufbauen können. Ihr Hauptzweck liegt in den Möglichkeiten für eine laufende Beurteilung der Umweltsituation sowie der nachträglichen Analysemöglichkeit für eingelagerte Umweltproben. Repräsentatives Probenmaterial soll für spätere Untersuchungen langfristig bereitgehalten werden, bis verfeinerte oder neu entwickelte Analysemethoden verfügbar sind, mit denen auch geringe, aber möglicherweise äußerst kritische Konzentrationen von Schadstoffen präzise meßbar werden, die sich heute ggf. noch dem quantitativen Nachweis entziehen. Ebenso können Proben in der Zukunft auf Schadstoffe hin untersucht werden, die sich dann als umweltgefährdend darstellen können, heute aber noch unbeachtet bleiben. Die einwandfreie (d. h. unter Ausschluß selbständig ablaufender Umwandlungsprozesse) Langzeitlagerung von Umweltproben ist von erstrangiger Bedeutung für:

- die Entwicklung gesetzlicher Maßnahmen, weil in den damit verbundenen Abwägungsprozessen vielfach der exakte Nachweis von Rückständen und ihrer Verbreitung in der Umwelt eine wesentliche Rolle spielt
- die frühzeitige Feststellung signifikanter Änderungen der Umweltsituation oder des Neuauftretens schädlicher Stoffe in der Umwelt und den Vergleich mit Belastungen zu früheren Zeiten
- eine Erfolgskontrolle gegenwärtiger und zukünftiger Verbots- und Beschränkungsmaßnahmen im Umweltbereich.

3.8.2.1 Bisherige Förderungsschwerpunkte

Ziel der von 1976 bis 1978 geförderten Forschungsvorhaben und der seit 1979 als Pilotvorhaben betriebenen Umweltprobenbank war die Klärung der Frage, ob eine solche Umweltprobenbank überhaupt *technisch* realisierbar ist. Ökosystemare Gesichtspunkte mußten daher zunächst in der Betrachtung zurücktreten. Im Vordergrund stand die Klärung der wissenschaftlichen und technischen Voraussetzungen für eine einwandfreie Probenauswahl, -entnahme, -beförderung, -analyse und -lagerung und damit für Aufbau und Betrieb einer solchen Probenbank. Mit 17 Probentypen, ausgewählt aus dem Humanbereich (Vollblut), dem aquatischen Bereich (z. B. Dreikantmuscheln) und terrestri-

schen Bereich (z. B. Böden) sollte beispielhaft die Bearbeitung dieser potentiellen Probleme ermöglicht werden.

Im einzelnen wurden folgende Punkte bearbeitet:

- Stufenweiser Aufbau, Betrieb und Organisation einer Pilotprobenbank
- Empfehlung geeigneter Behältermaterialien nach Abschluß der erforderlichen Kontaminations-, Material- und Dimensionierungsstudien
- Ermittlung optimaler Probenahme-, Probenvorbereitungs- und Langzeitkonservierungsbedingungen für einige ausgewählte Probentypen
- Bestimmung des Gehaltes an ausgewählten Stoffen und Substanzgruppen zusätzlich zur begleitenden Probencharakterisierung
- Entwicklung eines standardisierten Probenahme- und Probenvorbereitungsverfahrens mit eingeschlossener Tieftemperatur-Homogenisierung für den Einsatz im mobilen Reinluftlabor
- Aufbau einer Datenbank zur Statusbeschreibung der eingelagerten Proben und Entwicklung der erforderlichen Programme zur Datenerfassung und -speicherung.

Die bisherigen Ergebnisse zeigen, daß sich bei keiner Probenart Hinweise für lagerungsbedingte, temperatur- und/oder zeitabhängige Veränderungen der Proben ergeben.

3.8.2.2 Zukünftige Aufgaben

Die genannten Arbeiten sollen im Jahre 1984 enden und das bisherige Pilotvorhaben nach erfolgreichem Abschluß als Daueraufgabe, eingeordnet innerhalb des gesamten Instrumentariums zur Umweltüberwachung, durch den Bundesminister des Innern weitergeführt werden. Künftige Forschungsaufgaben können in begrenztem Umfang vor allem im Hinblick auf eine Ausweitung der Probenarten und der Weiterentwicklung analytischer Verfahren erforderlich werden.

3.9 Modellentwicklung

3.9.1 Ausgangslage

Die Umwelt wird durch den Menschen mit einer Vielzahl von Schadstoffen belastet, die Schädigungen bei der menschlichen Gesundheit und Schädigungen des gesamten Ökosystems zur Folge haben. Die Schädigungen sind aber nicht nur direkter Natur, negative Veränderungen sind auch indirekt möglich, z. B. kann durch eine stärkere Luftverschmutzung der Strahlungshaushalt der Atmosphäre verändert werden, und Klimaschwankungen oder gar Klimaänderungen können die Folge sein.

Um eine wirkungsvolle Umweltpolitik betreiben zu können, ist es notwendig, die Abläufe und Wechselwirkungen in unserer Umwelt so weit wie möglich im Detail zu kennen. Dieses hochgesteckte Ziel

kann aber in Anbetracht der Komplexität der sich in der Natur abspielenden Vorgänge nur schwer erreicht werden.

3.9.2 Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen

Eine Vielzahl von Faktoren, die sich gegenseitig beeinflussen, regeln Abläufe in der uns umgebenden Biosphäre. Um das Zusammenwirken dieser Faktoren besser verstehen, Entwicklungen absehen, Trends aufdecken und gesicherte Vorhersagen machen zu können, ist es notwendig, über geeignete Modelle zu verfügen.

3.9.2.1 Bisherige Förderungsschwerpunkte

Derartige Modelle wurden in einigen Bereichen der Umweltforschung bereits entwickelt, so z. B. für Klimamodelle, Ausbreitungsmodelle für Luftschadstoffe etc.

3.9.2.2 Zukünftige Aufgaben

Um das komplexe Umweltgeschehen und die durch den Menschen verursachte negative Beeinflussung zu verstehen und zu erfassen, sind verstärkt Arbeiten für geeignete Umweltmodelle und Teilmodelle durchzuführen, die die Aussagekraft der bisher vorhandenen Modelle verbessern. Darin sind auch die Folgen von Großinvestitionen einzubeziehen. Besonderes Augenmerk ist auf die Auswahl und Qualität der für derartige Modelle notwendigen Daten zu legen. Ein aussagefähiges Modell kann nur in einem ständigen Informationsaustausch und Kontakt zwischen den Zulieferern der wissenschaftlichen Grunddaten und den Modellentwicklern durchgeführt werden, damit die Modellentwicklung nicht zum Selbstzweck wird. Bereiche für vorrangige Modellentwicklungen sind: Klima, Schadstoffausbreitung, Schadstoffbilanzierung und Ökosysteme.

4. Technologien zur Reduzierung von Umweltbelastungen

4.1 Wasserwirtschaft

4.1.1 Ausgangslage

Die Bundesregierung hat angekündigt, alle Anstrengungen zu unternehmen, die einen wirksamen Gewässerschutz gewährleisten. Ziel der Wasserwirtschaft, wie es schon im Umweltprogramm von 1971 postuliert wurde und unverändert fortgilt, ist es, den Wasserhaushalt so zu ordnen, daß

- das ökologische Gleichgewicht der Gewässer bewahrt oder wieder hergestellt wird,
- die einwandfreie Wasserversorgung der Bevölkerung und der Wirtschaft gesichert ist, gleichzeitig aber auch
- alle anderen Wassernutzungen, die dem Gemeinwohl dienen, auf lange Sicht möglich bleiben.

Die im Umweltprogramm angekündigten gesetzlichen Maßnahmen wurden zunächst mit dem Vierten Änderungsgesetz zum Wasserhaushaltsgesetz (1976), dem Abwasserabgabengesetz (1976) und dem Waschmittelgesetz (1975) konkretisiert. Weitere für den Gewässerschutz wichtige Rechtsinstrumente sind durch das Chemikaliengesetz (1980) und die 2. Novelle zum Abfallbeseitigungsgesetz (1982) geschaffen worden.

Das neue rechtliche Instrumentarium hat gegriffen. Spürbare Fortschritte zeigen, daß vor allem vom Abwasserabgabengesetz — in Verbindung mit den Anforderungen an das Einleiten von Abwasser auf Grund des § 7 a WHG — auf breiter Ebene positive Wirkungen auf den Vollzug und auf die Investitionsbereitschaft der Abwassereinleiter ausgegangen sind.

Entscheidende Verbesserungen der Gewässergüte sind durch den Bau zahlreicher biologischer Kläranlagen im kommunalen Bereich sowie durch intensive Abwasserbehandlung und ergänzende innerbetriebliche Maßnahmen bei vielen Industriebetrieben erreicht worden. Vor allem die sauerstoffzehrenden organischen Abwasserinhaltsstoffe sind in erheblichem Umfang vermindert worden. Daneben konnte aber auch bereits eine deutliche Abnahme bei einer Reihe von problematischen Stoffen, z. B. bei Schwermetallen, erreicht werden.

Gleichwohl ist die Situation unserer Gewässer hinsichtlich problematischer Schadstoffe, vor allem Schwermetalle und Organohalogene, noch unbefriedigend. Energische Anstrengungen zur Vermeidung oder Reduzierung dieser Schadstoffe durch innerbetriebliche Maßnahmen und/oder Verfahren der weitergehenden Abwasserreinigung sind unabdingbar. Als besonders empfindliche Bereiche haben sich in jüngster Zeit die Klärschlämme und Gewässersedimente herausgestellt; dort findet eine Anreicherung zahlreicher Stoffe statt, die eine landwirtschaftliche Verwertung erschwert oder gar unmöglich macht und neue Beseitigungs- oder Verwertungslösungen erfordert. Die in den Sedimenten fixierten Schadstoffe können im Falle der Remobilisierung auch für den Wasserkörper ein beträchtliches Schadstoffdepot darstellen.

4.1.2 Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen

Für die Reduzierung biologisch abbaubarer Abwasserinhaltsstoffe hat sich die biologische Abwasserbehandlung als sehr leistungsfähiges Verfahren erwiesen. Ihre allgemeine Einführung und technische Verbesserung stand im Vordergrund der Anstren-

gungen der letzten Jahre. Zur Zeit wird das Abwasser von über 70 % der Einwohner der Bundesrepublik vollbiologisch behandelt, 1959 waren es nur 35 %. Weitere Kläranlagen sind geplant oder schon im Bau bzw. Ausbau, so daß in wenigen Jahren alle in öffentlichen Kanalisationen gesammelten und abgeleiteten Abwässer vollbiologisch behandelt werden. Für eine über die geltenden Mindestanforderungen hinausgehende Reinigung sind jedoch noch weitere Anstrengungen vonnöten.

Auf dem Sektor der Industrieabwässer ist der Ausbau der Abwasserbehandlung ebenfalls weit fortgeschritten, soweit biologische Verfahren einsetzbar sind, insbesondere bei relativ dünnen, in großen Mengen anfallenden Mischabwässern der chemischen Industrie. In anderen Bereichen besteht jedoch noch ein technologischer Nachholbedarf. So bilden in einigen Fällen, z. B. in den bei der Zellstoffbleiche anfallenden Abwässern, die biologisch nicht abbaubaren Stoffe die Hauptmenge der Verunreinigung. Auch mittels biologischer Hochleistungsverfahren in Verbindung mit chemischer Fällung, Ultrafiltration, Adsorption, Umkehrosmose, Naßoxidation und anderen Verfahren der weitergehenden Abwasserbehandlung können solche Verunreinigungen noch nicht befriedigend eliminiert werden. Desgleichen sind Maßnahmen zur Vermeidung z. B. durch Gegenstromverfahren bzw. abwasserlose Produktionsprozesse noch nicht ausreichend entwickelt.

Mit den Fortschritten in der biologischen Abwasserbehandlung hat die Entwicklung in anderen Bereichen des Entsorgungssystems nicht in gleichem Maße Schritt gehalten. Das gilt z. B. für die Kanalnetztechnik und die Regenwasserbehandlung, insbesondere jedoch für die Schlammbehandlung und -verwertung. Hier ist die Situation insofern kritisch geworden, als die bessere Abwasserreinigung sowie der verstärkte Anschluß von Industriebetrieben an das öffentliche Kanalisationsnetz größere Schlammengen mit in vielen Fällen hohen Schadstoffbelastungen zur Folge hat. Die Entwicklung der Behandlungstechnologie — Verringerung der Schadstoffe im Abwasser an der Quelle bzw. Reduzierung der Schlammbelastung — hat aber erst begonnen und ist noch erheblich ausbaubedürftig.

4.1.2.1 Bisherige Förderungsschwerpunkte

Der gegenwärtige Förderungsschwerpunkt wurde seit 1976 aufgebaut und ist in fünf Hauptaktivitäten gegliedert:

- Methoden und Verfahren zum Gewässerschutz und zur Nutzung der Selbstreinigung der Gewässer
- Kommunale Abwasserreinigung
- Reinigung industrieller und gewerbliche Abwässer
- Abwasserentlastende Technologien und Kreislaufschließung
- Verfahren zur Klärschlamm Entsorgung; Schlammbehandlung und -verwertung.

In diesen Bereichen konnten durch zahlreiche Forschungs- und Demonstrationsvorhaben erheblich verbesserte Leistungen der Abwasserreinigung erreicht, Methoden zur Wasserwiederverwendung aufgezeigt und Verfahren zu einer fortschrittlichen Klärschlammbehandlung und -nutzung entwickelt werden.

Beispielhafte Entwicklungsvorhaben sind

- die Abwasservorbehandlung zur landwirtschaftlichen Verregnung, durch die die weitere gesundheitlich unbedenkliche Nutzung des Abwassers und seiner Nährstoffe in einem ca. 3 050 ha großen Anbaugebiet gesichert wurde
- das Adsorptionsbelebungsverfahren, das in einer neuen Großkläranlage (700 000 Einwohnergleichwerte) verwirklicht wurde und trotz der Zuführung von stark belasteten Industrieabwässern deutlich bessere und stabilere Ablaufergebnisse bewirkt sowie ein erheblich geringeres Bauvolumen und verminderten Energiebedarf erfordert als vergleichbare Abwasserbehandlungsanlagen
- ein durch dezentrale Wasserbehandlung und zentrale Regeneration der verwendeten Ionenaustauscher gekennzeichnetes Pilotsystem zur Entsorgung der metallhaltigen Spülwässer kleinerer Galvanikbetriebe mit Buntmetallrückgewinnung mit inzwischen über 100 in dieses Entsorgungssystem einbezogenen Betrieben
- Abwasserentlastung durch Einsatz der Sauerstoffbleiche statt der Bleiche mit Chlor im Bereich der Zellstoffindustrie (Vermeidung der Bildung von Chlorligninen)
- Bio-Hoch-Reaktor zur Reinigung von 15 000 m³/Tag Chemieabwasser unter Zugabe von Aktivkohle
- Anaerob-aerobe Reinigung von hochverschmutzten Abwässern der Zuckerindustrie unter Nutzung des Wärmeinhaltes und Verwertung des anfallenden Gases
- Reinigung und Teil-Wiederverwendung von Textil-Abwässern mit Hilfe von Kokskohle-Adsorbens (Pilotanlage mit 2 000 l/h Durchsatz)
- Energieautarke Schlamm Trocknung mit Erzeugung eines streufähigen Düngergutes
- Aufbereitung von Faulgas aus Klärschlamm zur Verwendung als Zugabe zum Stadtgas.

4.1.2.2 Zukünftige Aufgaben

Die Abwasserbehandlungstechnik ist aufgrund der gestiegenen Gewässergüteanforderungen in einem schnellen Wandel begriffen. Um die technologischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen für einen wirkungsvollen Umweltschutz langfristig zu sichern, muß das technische und methodische Instrumentarium der Abwasserbehandlung so verbessert werden, daß das vielfältige Spektrum der Abwasserarten mit gleichem Erfolg entsorgt werden kann. Dabei ist davon auszugehen, daß durch den Wandel

der Produktion andere Reststoffe auftreten, die Kenntnisse über die Schädigung fortschreiten und die Umweltsensitivität wächst. Die *Verbesserung der Klärtechnik* ist daher eine langfristig aktuelle Aufgabe.

Durch die steigenden Anforderungen an die Reinigungsleistung und den Ausbau der Kläranlagen ist auch der *Energiebedarf für die Abwasserreinigung überproportional* gestiegen. Dieser Tendenz muß durch entsprechende Entwicklung energiesparender Reinigungsverfahren entgegengewirkt werden.

Es ist künftig verstärkt darauf zu achten, daß Reinigungs- und Behandlungsoperationen *das Schadstoffproblem nicht zum Teil in andere Bereiche verlagern*, z. B. in die Luft oder in den festen Abfall. Die technologische Entwicklung muß daher die schadlose Beseitigung der Abwasserschlämme als Reststoffe der Abwasserbehandlung einbeziehen und eine Gesamtlösung des Problems anstreben. Auch die Vermeidung von Lärm- und Geruchsemissionen ist dabei zu berücksichtigen.

Der volkswirtschaftliche Aufwand für den Aus- und Neubau von Kläranlagen und für ihren Betrieb steigt mit geforderten höheren Wirkungsgraden deutlich an. In einigen Produktionsbereichen können die *Entsorgungskosten* zu einem wichtigen Faktor für die Wettbewerbsfähigkeit werden. Die Forschung muß daher auch darauf ausgerichtet sein, daß die Kosten der Abwasserentsorgung wie auch der Wasserversorgung nicht zu einem begrenzenden Faktor für die wirtschaftliche Entwicklung werden. Da die abwassertechnische Entwicklung einen hohen Aufwand und spezifische Fachkenntnisse erfordert und zum Teil mit erheblichen Risiken behaftet ist, sind die Kommunen und viele, insbesondere kleinere Betriebe damit überfordert und bedürfen der *Unterstützung durch staatliche Forschungsförderung* und Forschungsinstitute.

Wichtiges Ziel muß es sein, die Schadstoffe, soweit ihre Entstehung nicht durch entsprechende Verfahrensumstellung ganz vermieden werden kann, an der Anfallstelle zurückzuhalten. Viele Schadstoffe stammen aber aus diffusen Quellen und sind nicht mit vernünftigem Aufwand zurückzuhalten. Die Erforschung und Bilanzierung großräumiger und innerbetrieblicher Schadstoffströme (Herkunft und Verbleib) ist eine wichtige Voraussetzung für die Verbesserung der Entsorgung. Basis dafür ist eine leistungsfähige und kostenmäßig tragbare Analytik.

Aus den vorgenannten generellen Zielsetzungen lassen sich folgende zukünftige Schwerpunkte ableiten:

1. Weiterentwicklung und Verbesserung der Ausnutzung des bestehenden Entsorgungssystems
2. Verringerung der Emission problematischer Stoffe sowie Ersatz bedenklicher Stoffe durch umweltverträgliche Stoffe
3. Schlammbehandlung mit dem Ziel einer schadlosen Gesamtentsorgung
4. Kreislaufschließung und Abwasserwiederverwendung.

Zu 1

Weiterentwicklung und Verbesserung der Ausnutzung des bestehenden Entsorgungssystems

Diese Entwicklung hat die Erhöhung der Gesamtleistung der Behandlungsverfahren sowie die Minimierung der Entsorgungskosten zum Ziel. Vorrangig zu bearbeiten sind

- Weiterentwicklung der Kanalisationstechnik (Speicherung und Abflußsteuerung), Verringerung regenbedingter Schmutzstöße, Schutz vor Korrosion und Sanierung alter Kanäle, Verringerung der Baukosten
- Weiterentwicklung der Abwasserreinigungstechnik (Regenwasserbehandlung/Ausgleich von Belastungsschwankungen, verbesserte Ausnutzung des Beckenraumes zur Verringerung des Platzbedarfs, zweckentsprechende Verfahrensstufen für Leistungserhöhung bestehender Anlagen, Kombination von Adsorptions- und biologischer Behandlung, Verbesserung der Schwebstoffabscheidung)
- Behandlungsverfahren für hoch konzentrierte und schwierige Abwässer (insbesondere von kleinen und mittleren Betrieben, Deponiesickerwasser, Abwässer und Abgasbehandlung)
- Vorbehandlung vor Einleitung in die öffentlichen Abwasseranlagen
- Technologie und Organisationsmodelle für Betrieb, Wartung und Schlamm Entsorgung kleiner oder nur saisonal belasteten Anlagen
- Ökologisch (oder lokal) optimierte Verknüpfung von Behandlungselementen zu Systemen z. B. mit Blick auf die Wiederverwertung von Abwasser und die Nutzung der Schlämme ggf. unter Einbeziehung der festen Abfallstoffe
- Verringerung der Betriebskosten und des Energiebedarfs.

Zu 2

Verringerung der Emissionen problematischer Stoffe sowie Ersatz bedenklicher Stoffe durch umweltverträgliche Stoffe.

Problematische Stoffe können durch Änderungen von Produktionsverfahren — evtl. in Verbindung mit dem Einsatz neuer Roh- und Hilfsstoffe — und/oder Verfahren der physikalisch-chemisch-biologischen Abwasserbehandlung vermindert werden. Besondere Aufmerksamkeit verdient dabei auch die Weiterentwicklung dezentraler innerbetrieblicher Verfahren der Abwasserbehandlung sowie die Behandlung von Teilströmen. Diese Integration von Behandlungsverfahren in die Produktion gilt auch für biologische Verfahren, die bislang überwiegend in der zentralen Schlußbehandlung von Abwässern eingesetzt waren.

Als Kriterien für problematische Stoffe können neben CSB und DOC/TOC andere Summenparameter wie AOX und EOX angesehen werden. Daneben können aber auch Stoffgruppen oder die Einzel-

stoffe zugrundegelegt werden, die Gewässerbeeinträchtigungen hervorrufen können und nicht mit herkömmlichen Verfahren nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik zu entfernen sind. Im industriellen Bereich (Direkteinleiter, aber auch bei den in die kommunalen Kanalisationen einleitenden Indirekteinleitern) handelt es sich vor allem um Metalle und organische Substanzen, wie sie z. B. in der EG-Gewässerschutzrichtlinie von 1976 (schwarze und graue Liste) genannt sind. Vorrangig zu bearbeiten sind:

- Verfahren zur Elimination von Stickstoff und Phosphor
- Verfahren zur Elimination anorganischer Stoffe, insbesondere von Metallen. Hier ist ein besonderes Schwergewicht auf Verfahren für Kleinbetriebe zu legen, die in die kommunale Kanalisation einleiten. Vorrangig ist die Rückhaltung der Metalle, die zur Behinderung der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung führen
- Elimination biologisch schwer abbaubarer organischer Stoffe. Neben der Entwicklung spezieller Behandlungsstufen fallen hierunter auch innerbetriebliche Maßnahmen. Ein besonderer Aspekt ist hierbei ferner die Vereinfachung der zum Teil schwierigen und aufwendigen Analytik
- Aufklärung der Wirkungsweise physikalisch-chemisch-biologischer Behandlungsverfahren mit dem Ziel, ihren Einsatzbereich zu erweitern.

Zu 3

Schlammbehandlung mit dem Ziel einer schadlosen Entsorgung

Schlämme mit hohen Gehalten an organischen und Düngerstoffen sollten bevorzugt landwirtschaftlich verwertet werden, soweit entsprechende Flächen vorhanden sind. Nicht verwertbare Schlämme können nach Wasserentzug, Volumenreduzierung (z. B. Verbrennung oder Verfestigung) nur in Deponien abgelagert werden. Die Behandlungsverfahren sind also entweder auf die Verwertung oder die Ablagerung auszurichten. Daneben ist auch die Wertstoffgewinnung aus Schlämmen von Bedeutung. Vorrangig zu bearbeiten sind:

- Verbesserung der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung. Hygienisierung, Entfernung der kritischen Metalle oder anderer Schadstoffe aus Klärschlämmen oder Baggergut, Verfahren zur Erzielung gleichbleibender Qualität (mit Blick auf Düngerersatz) und besserer Handhabbarkeit
- Verfahrensentwicklungen mit dem Ziel einer schadlosen Endlagerung. Hierbei geht es um die Konsistenz z. B. Verfestigung, die Verringerung der Auslaugbarkeit, teilweise Trocknung und Verbrennung. Besonderes Augenmerk ist der Minimierung von Energie und Hilfsmitteln zu widmen

- Verfahrensentwicklungen mit dem Ziel der Energie- und Wertstoffrückgewinnung aus Schlämmen. Beispiele hierfür sind: Düngersphosphat aus entsprechenden Schlämmen
- Mitbeseitigung von flüssigen Abfällen bei der Klärschlammbehandlung.

Zu 4

Kreislaufschließung und Abwasserwiederverwendung

Die Verminderung des industriellen und gewerblichen Wasserverbrauchs ist von großer wirtschaftlicher und ökologischer Bedeutung; sie sollte mit einer Verminderung der Schadstofffracht einhergehen. Sowohl bei internem Recycling als auch bei Reduzierung der Durchlaufmenge, z. B. durch Gegenstromverfahren, muß daher ein höherer Reinigungsgrad erreicht werden, als bei der konventionellen Abwasserbehandlung. Als andere aussichtsreiche Maßnahme zur Schonung der natürlichen Wasservorräte ist eine Abwasserwiederverwendung anzustreben. Diese kann z. B. beim Einsatz von entsprechend weitergehend behandeltem kommunalen Abwasser, z. B. zur Grundwasseranreicherung, sinnvoll sein. Bei allen Arten der Rückführung bereits benutzten Wassers sind die Anforderungen an die Reinigung anders und in der Regel höher als bei der normalen Abwasserbehandlung, da die Anreicherung schädlicher Bestandteile, z. B. von Spurenkomponenten und von korrosionsfördernden Salzen, vermieden werden muß.

Vorrangig zu bearbeiten sind:

- Wiederverwendung von Abwasser für die industrielle Brauchwasserversorgung und die Grundwasseranreicherung
- Wassereinsparung und Emissionsverminderung in Industrie und Gewerbe durch Kreislaufschließung oder trockene Produktionsverfahren
- Rückgewinnung von Wertstoffen aus Abwasser und Kreislaufwasser
- Entwicklung neuer Produktionsprozesse mit geringerem Schadstoffausstoß.

4.1.3. Internationale Zusammenarbeit

Umweltprobleme im Wasserbereich sind wie bei der Luft grenzüberschreitender Natur und können daher nicht allein in nationalem Rahmen gelöst werden. Um einen durchschlagenden Erfolg beim Umweltschutz zu erzielen und um gleiche Voraussetzungen für die Industrie zu erhalten, ist eine intensivierte internationale Zusammenarbeit erforderlich. Neben der Zusammenarbeit mit den Industrienationen (wegen der gleichartigen Probleme) hat die Kooperation mit den Entwicklungsländern besondere Bedeutung, weil deren technologisches und wirtschaftliches Potential für eine vorbeugende Steuerung ihrer Umweltsituation noch nicht ausreicht. Der Zugang zu hygienisch einwandfreiem Wasser stellt in den meisten Entwicklungsländern

noch ein großes Problem dar. Deshalb ist es dringend geboten, Forschung und Entwicklung in der Bundesrepublik zukünftig stärker auch in den Dienst der Zusammenarbeit mit den Entwicklungsländern zu stellen und ihnen bei uns verfügbares Wissen und technisches Know-how zugänglich zu machen. Hier bieten bilaterale Modellvorhaben unter Beteiligung internationaler Organisationen gute Voraussetzungen.

4.2 Abfallwirtschaft

4.2.1 Ausgangslage

Einen zunehmend wichtigen Bereich des Umweltschutzes sieht die Bundesregierung in der Abfallwirtschaft. Mit den auf der Grundlage des ersten Umweltprogramms der Bundesregierung aus dem Jahre 1971 erlassenen Gesetzen und Verordnungen wurden die Voraussetzungen für eine grundlegende Neuordnung der bis dahin nur teilweise kontrollierten und umweltverträglich erfolgenden Abfallbeseitigung geschaffen. Aufgrund des *Abfallbeseitigungsgesetzes* (1972) erfolgte der Auf- und Ausbau leistungsfähigerer Entsorgungsanlagen, und der Übergang der Beseitigungspflicht auf die Kreise und kreisfreien Städte bewirkte vor allem die Schließung zahlreicher kleiner Müllplätze und die Einrichtung geordneter Zentraldeponien.

Mit dem *Abfallwirtschaftsprogramm* 1975 setzte die zweite Phase der Abfallwirtschaftspolitik ein, die zum Ziel hat, über die geordnete Beseitigung hinaus verstärkt auf die Verminderung und Vermeidung sowie stoffliche und/oder energetische Verwertung von Abfällen hinzuwirken.

Im Jahre 1980 betrug das Gesamtaufkommen fester kommunaler Abfälle ca. 25 Mio. t. Die Abfallmengen waren in den 70er Jahren um 3 bis 4 Gewichts-% und 6 bis 8 Volumen-% pro Jahr gestiegen. Dieser Trend hat sich in jüngster Zeit — nicht zuletzt bedingt durch die allgemeine wirtschaftliche Situation — abgeschwächt und in einigen Bereichen deutet sich eine Stagnation der Mengenentwicklung an. Trotz dieser entlastenden Tendenz muß nach wie vor das Ziel verfolgt werden, größere Teile des Abfallaufkommens zu verwerten oder in Zukunft erst gar nicht entstehen zu lassen. Dies gebietet vor allem der wachsende Mangel an verfügbarer Deponiekapazität. Insbesondere in den dicht besiedelten Ballungsräumen finden sich in kostenmäßig vertretbarer Entfernung kaum noch geeignete Flächen für die Ablagerung von Abfällen. Aber auch in ländlichen Siedlungsräumen wird die Erschließung neuer Deponien schwierig und führt zunehmend zu Konflikten mit dem Landschafts- und Grundwasserschutz, zumal die Schadstoffbelastung im Hausmüll bedingt durch den zunehmenden Anfall von Chemikalien, Farb- und Lackresten etc. deutlich steigende Tendenz zeigt. Die Bundesregierung strebt an, daß bis Ende der achtziger Jahre die Hälfte des Hausmülls verwertet und die Abfallbeseitigung auf Hoher See gänzlich eingestellt wird.

Von den großen Mengen an Industrieabfällen sind allein etwa 4 Mio. t problematische Sonderabfälle, die einer besonderen Überwachung und Behandlung bedürfen.

4.2.2 Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen

Kommunale Entsorgung

Im Bereich der kommunalen Abfallentsorgung ist die Verlängerung der Nutzungsdauer vorhandener und neu zu erschließender Deponien durch Abfallvermeidung und Steigerung der Verwertung wichtigstes Ziel.

Gegenwärtig erfolgt die Entsorgung der kommunalen Abfälle in folgender Verteilung auf die z. Z. eingesetzten Beseitigungsverfahren:

Geordnete Deponie (unbehandelte Abfälle)	ca. 70 %
Verbrennung mit Restedeponie	ca. 27 %
Kompostierung und Kombination	
— Mechanische Sortierung — Kompostierung	
(bisher nur in 1 Anlage) mit Restedeponie	ca. 3 %

Für die innerhalb der nächsten 10 Wochen anzustrebende Entwicklung werden folgende Zielwerte zugrunde gelegt:

— Deponie (unbehandelte Abfälle)	50 %	Verlängerung der Standzeit einer Deponie um den Faktor 2 bis 3
— Verbrennung und neue thermische Verfahren (u. a. Pyrolyse) Brennstoffsubstitute aus Müll (BRAM)	40 %	Entsorgungsalternative für mittlere und kleine Einzugsgebiete (um 150 000 EGW*)
— Kompostierung, mechanische Aufbereitung (Brenn- und Sekundärrohstoffgewinnung) und Kombinationen dieser Verfahren, jeweils mit Restedeponien.	10 %	Herstellung schadstoffarmer Komposte

Zur Realisierung dieser Zielvorstellung sind durch Forschung und Entwicklung aufgrund der bisher durchgeführten Fördermaßnahmen wichtige Voraussetzungen geschaffen worden und durch die Aktivitäten während des Programmzeitlaufs weiter zu gewährleisten. Nicht erfaßt wird in obiger Darstellung der Entsorgungsanteile der einzelnen Verfahren der Einfluß der Verwertung von Abfallstoffen durch Separierung beim Abfallerzeuger (private Haushalte und Gewerbe) und getrennte Sammlung, wodurch erheblich zur Reduzierung der Abfallmengen zur weiteren Deponieentlastung beigetragen werden kann.

Wichtigste Voraussetzung für eine erfolgreiche Verwertungssteigerung ist, daß der Absatz der auf Abfallbasis erzeugten Produkte sichergestellt wird.

*) Einwohnergleichwerte

Hier sind noch zahlreiche technologische, wirtschaftliche und organisatorische Probleme zu lösen.

Angesichts des wichtigen Faktors der Kosten der Abfallentsorgung — insgesamt werden ca. 4 Mrd. DM/a für die kommunale Abfallbeseitigung aufgewendet, wovon der weitaus größere Anteil (je nach Beseitigungsverfahren 60 bis 80%) auf Sammlung und Transport entfällt — müssen die Bemühungen fortgesetzt werden, rationellere Erfassungssysteme zu entwickeln. Dies ist um so wichtiger als die Aufwendungen für die Entsorgung insgesamt ansteigen, zum einen als Folge des angestrebten Ausbaues von Verbrennungs- und Verwertungsanlagen, zum anderen als Folge erhöhter Umweltschutzanforderungen an die Entsorgungsanlagen. Durch bessere Nutzung der in Abfallstoffen enthaltenen Rohstoff- und Energieinhalte kann diesem Kostentrend entgegengewirkt werden. Da die betroffenen Gebietskörperschaften bei der Entwicklung geeigneter Entsorgungstechnologien überfordert sind und dies auch nicht ihre Aufgabe ist, liegt hier eine wichtige Förderaufgabe des BMFT.

Industrie und Sondermüllentsorgung

Strenge Umweltschutzaufgaben stellen besondere Anforderungen an Zahl, Kapazität und Qualität der Beseitigungsanlagen für Sonderabfälle.

Andererseits machen gestiegene Rohstoff- und Energiepreise sowohl die Entwicklung rückstandsfreier oder abfallarmer Produktionsverfahren bzw. innerbetrieblicher Verwertungs- und Rückführungstechnologien als auch die stoffliche und energetische Verwertung von Abfällen und Rückständen zunehmend interessanter.

Der Vollzug des Gesetzes zu den Übereinkommen über die Verhütung der Meeresverschmutzung durch das Einbringen von Abfällen durch Schiffe und Luftfahrzeuge sowie das novellierte Wasserhaushaltsgesetz (WHG, § 7a) in Verbindung mit dem Abwasserabgabengesetz machen es aus umweltpolitischen und Kostengründen in vielen Branchen dringend, die Minderung oder Verwertung von Rückständen zu intensivieren, die bisher durch Einbringung in die Nordsee bzw. über das Abwassersystem entsorgt wurden.

Wie bei den Kommunen ist auch in der Industrie die Entwicklung neuer Verfahren der Abfallbehandlung und rückstandsarmer Produktionstechnologien in vielen Fällen wegen der mit diesen Verfahren verbundenen technischen und wirtschaftlichen Risiken nicht selbstgänglich.

Es fehlt insbesondere bei Klein- und Mittelbetrieben sowohl an ausreichenden Informationen als auch an der erforderlichen Forschungs- und Entwicklungskapazität, und die Betriebe sind häufig nicht in der Lage, das z. T. erhebliche wirtschaftliche Risiko der neuen Entwicklungen voll zu übernehmen. Hier ergeben sich vielfältige Aufgaben der FE-Förderung.

4.2.2.1 Bisherige Förderungsschwerpunkte

Im Rahmen des Bereichs „Feste Abfallstoffe“ sind seit 1976 systematisch folgende Hauptaktivitäten unterstützt worden:

Planerische Grundlagen — Erarbeitung von Wirtschaftlichkeitsmodellen, Planungsgrundlagen und -hilfen

Sammlung, Transport, Vorbehandlung — Entwicklung neuer Sammelsysteme, Sammelfahrzeuge und Sortieranlagen für Hausmüll

Abfallarme Produktionsverfahren und innerbetriebliche Rückstandsverwertung (Abfallvermeidung und Substitution von Schadstoffen) — Entwicklung rückstandsarmer Produktionsverfahren für Kunststoffabfälle, Lackrückstände, chemische Abfälle, Altreifen, Verfahren für die Aluminium- sowie Nahrungsmittelindustrie u. a.

— *Thermische Verwertung* — Entwicklung und Erprobung neuer thermischer Verfahren (Pyrolyse, Hochtemperaturbehandlung) in Demonstrationsanlagen, Entwicklung von Verfahren zur Herstellung von Brennstoff aus Hausmüll (BRAM) sowie Durchführung von Brennversuchen, Bau und Erprobung einer Sonderabfallverbrennungsanlage, Verwertungsanlagen für Deponiegas, Optimierung von Verbrennungsanlagen u. a.

— *Stoffliche Verwertung und neue Produkte aus Altstoffen* — Entwicklung von Verfahren der mechanischen Aufbereitung von Hausmüll (Gewinnung von Sekundärrohstoffen), Entwicklung von Aufbereitungs- und Verwertungsverfahren für Altöle, Quecksilber aus Altbatterien, Altkunststoffe, Altholz, Kohleschlacke im Straßenbau, Altpapier; Verbesserung der Kompostierung

— *Schadlose Beseitigung* — Emissionsminderung und Langzeitbeobachtung abgeschlossener Deponien, Optimierung der Ablagerungstechnik durch Kreislaufführung des Sickerwassers, Untersuchung von Abdichtungsmaterialien u. A.

Beispielhafte Vorhaben sind

— Im Bereich neuer thermischer Verfahren zur Verwertung von Hausmüll mehrere Verfahren der Pyrolyse (Drehtrommelverfahren, Wirbelschichtpyrolyse). Diese befinden sich in der Erprobung. Erst wenn Betriebsergebnisse der z. Z. im Bau befindlichen Anlagen (Aalen und Günzburg) vorliegen, sind fundierte Aussagen über die Chancen der Hausmüllpyrolyse möglich.

Für das künftige Potential gilt es, den Einsatz dieser Verfahren zur Behandlung heizwertreicher Abfallfraktionen und industrieller Rückstände, vor allem Sonderabfälle und Klärschlämme, zu unterstützen. Gleichrangig sind Fragen der Verwertung der Produkte der thermischen Umwandlung und der Emissionskontrolle und -minderung zu lösen.

- Verfahren der mechanischen Aufbereitung von Haus- und Gewerbemüll. Hier sind Varianten unterschiedlicher Zielrichtung entwickelt worden:
- Verfahren zur Gewinnung von Sekundärrohstoffen
- Verfahren zur Gewinnung eines Brennstoffkonzentrates (BRAM = Brennstoff aus Müll, z. B. in Form von Pellets, Briketts oder in unverdichteter Form).

Ein Verfahren zur Gewinnung von Sekundärrohstoffen befindet sich in der Sortieranlage Neuss bereits in der großtechnischen Erprobung, eine zweite Anlage ist in der Bauphase. Die erste BRAM-Anlage als ein Teil des Rückgewinnungszentrums für Rohstoffe an der Ruhr (RZR) ist noch im Bau und soll 1984 in Betrieb gehen. Weitere BRAM-Projekte sind in Vorbereitung.

Die Entwicklung in diesem Bereich der neuen Verfahren ist noch nicht abgeschlossen. Der *Verwertung* der Aufbereitungsprodukte kommt künftig stärkeres Gewicht zu als der Aufbereitungstechnik selbst. Die Einführung dieser Verfahren in die kommunale Entsorgungspraxis erscheint im Rahmen dezentraler Planungen (kleine und mittlere Anlagen) aussichtsreicher als in Großprojekten.

- Die herkömmlichen Verfahren der kommunalen Abfallentsorgung wie Sammel- und Transporttechnik, Müllverbrennung, Müllkompostierung und Deponietechnik sind durch eine Reihe von Fördervorhaben auf einen hohen Entwicklungsstand gebracht worden, jedoch in Teilbereichen noch weiter verbesserungsbedürftig.
- Pilotvorhaben zur Gewinnung von Gas aus Deponien. Auf der Grundlage dieser Fördervorhaben wurde inzwischen eine große Zahl von Folgeprojekten eingeleitet, die keine Förderung mehr erforderten.
- Vermeidung von Emissionsverlagerungen ins Wasser oder in die Luft durch verfahrenstechnische Maßnahmen, Vermeidung von Geruchsemissionen etc.
- Eine fortschrittliche Anlage zur Verbrennung von Sondermüll mit einer trockenen Rauchgaswäsche.

4.2.2.2 Zukünftige Aufgaben

Aufgrund der angestrebten Entsorgungssituation und der bisher eingeleiteten Fördervorhaben sind bei der zukünftigen Forschungs- und Entwicklungsförderung die Steigerung der stofflichen und energetischen Nutzung von Abfällen weiterhin von Bedeutung. Die sogenannten neuen Verfahren werden nach derzeitiger Einschätzung jedoch nicht in erster Linie die herkömmlichen Verfahren ersetzen; interessanter erscheint es, sie als neue Teilverfahren in kombinierte Entsorgungs- und Verwertungssysteme einzuführen. Hinzu kommt, daß sie für

mittlere und kleine Einzugsgebiete eine Entsorgungsalternative darstellen können, die derzeit ausschließlich auf eine Deponie angewiesen sind. Dabei bietet vor allem auch die getrennte Bereitstellung und Sammlung einzelner Stoffgruppen oder spezifisch verwertungsgerechter Stoffgemische im kommunalen wie auch vor allem gewerblichen Bereich vielfältige Möglichkeiten, die deponieschonende verwertungsorientierte Entsorgung im Verfahrensverbund auszubauen. Besondere Priorität wird dabei der Entwicklung von Methoden und Verfahren zur Entsorgung von Klärschlämmen zukommen.

Im Vordergrund der Förderung von Entsorgungstechnologien im industriellen Bereich stehen Entwicklungen im Bereich der Sonderabfallbehandlung, die mit Priorität weiterzuverfolgen sind. Hier kommt Maßnahmen zur Entgiftung, Aufbereitung und zur Verwertung bestimmter Sondermüllarten sowie der Aufbereitung von Sickerwässern aus Sondermülldeponien besondere Bedeutung zu. Im Hinblick auf die Zielsetzung der Bundesregierung, daß Abfälle grundsätzlich in dem Staat zu beseitigen sind, in dem sie anfallen, sind technologisch fortschrittliche Anlagen zur Sonderabfallbeseitigung zu schaffen.

Die Bemühungen, die Umweltbelastung durch Abfallentsorgungsanlagen zu reduzieren, haben sich bisher weitgehend auf neu zu errichtende und in Betrieb befindliche Anlagen beschränkt. Die Umweltgefährdung durch Altablagerungen problematischer Rückstände im Bereich ehemaliger Produktionsanlagen, stillgelegter Gaswerke und Kokereien sowie abgeschlossener, unkontrolliert betriebener Sonderabfalldeponien ist erst in den letzten Jahren offenkundig geworden. Die Zahl der potentiell sanierungsbedürftigen kontaminierten Standorte in der Bundesrepublik ist nicht genau bekannt; sie liegt jedoch nach Schätzung von Sachverständigen und des Umweltbundesamtes in der Größenordnung von einigen tausend Altlasten. Dieses Problem besteht nicht nur für die Bundesrepublik Deutschland, sondern auch für andere europäische und außereuropäische Länder.

Die Gefährdung durch diese „Altlasten“ ist noch kaum im einzelnen quantifizierbar. Hier besteht in hohem Maße Forschungs- und Entwicklungsbedarf sowohl hinsichtlich der Analyse und Bewertung der Umweltbelastung als auch der Entwicklung und Erprobung von neuen sicheren und kostengünstigen Sanierungsmethoden und -technologien.

Aus diesen Zielsetzungen ergeben sich folgende künftige Schwerpunkte:

1. *Erprobung und Demonstration von Verwertungstechnologien in kleineren dezentralen Einheiten einschließlich Technologieoptimierung und Technologiemodifizierung, z. B.*
 - dezentrale Energiegewinnung aus Abfällen und Einbindung in dezentrale kommunale/industrielle Energieversorgungskonzepte (Verbrennung, Biogastechnologie, Deponiegasgewinnung, Pyrolyse)

- dezentrale Kompostwerke zur Gewinnung von Bodenverbesserungsmitteln aus spezifisch geeigneten Abfällen/Rückständen aus dem kommunalen und gewerblichen Bereich
 - kleinere Sortieranlagen als Vorschaltanlagen auf Deponien oder in Verbindung mit getrennter Sammlung von Wertstoffgemischen
 - kombinierte Anlagen zur Steigerung der Verwertung im Verfahrensverbund und Reduzierung der zu deponierenden Reststoffe.
2. *Weiterentwicklung von Technologien und Systemen der separaten Erfassung/getrennten Sammlung*
- Entwicklung und Erprobung kostengünstiger integrierter Sammelsysteme zur getrennten Sammlung von Wertstoffen und Wertstoffgemischen (z. B. „Brennbares“ zwecks BRAM-Gewinnung)
 - getrennte Erfassung problematischer Abfälle, d. h. von Sonderabfallkleinmengen aus Haushalten, Kleingewerbe, Labors etc., die bisher mit dem Hausmüll zusammen beseitigt werden und dadurch ein besonderes Schadstoffpotential darstellen.
3. *Steigerung der Einsatzmöglichkeiten von Sekundärrohstoffen und Energieträgern aus Abfällen*
- Anwendungstechnische Entwicklungen zur Förderung des Einsatzes von Sekundärrohstoffen und Energieträgern (z. B. BRAM)
 - Erarbeitung von Qualitätskriterien und -standards
 - Begleitende Meßprogramme zur BRAM-Feuerung
 - Maßnahmen zur Vermeidung/Reduzierung von Schadstoffen durch verfassungstechnische Maßnahmen (z. B. Vorsortierung)
 - Erschließung neuer Einsatzgebiete durch anwendungstechnische Versuche.
4. *Emissionsminderung bei Abfallbehandlungsanlagen*
- Optimierung der Entgasung von Deponien einschließlich Gasnutzung und Weiterentwicklung von Verfahren zur Abdichtung und Reduzierung des Sickerwasseranfalls
 - Maßnahmen zur Vermeidung/Verminderung von Schadstoffen auf der Eingangsseite von thermischen Abfallbehandlungsanlagen (z. B. durch Sortierung) und Weiterentwicklung der Rauchgasreinigung zur Eliminierung kritischer Schadstoffe
 - Verbesserung der Kompostierung hinsichtlich Schadstoffeliminierung, Geruchsbildung
 - Klärschlammvorbehandlung für die gemeinsame Deponierung mit Hausmüll, z. B. Aufbereitung am Deponiestandort (Mischung, Verfestigung)
5. *Minderung der Umweltgefährdung durch kontaminierte Standorte (Altlasten)*
- Weiterentwicklung von Einbautechniken bei der gemeinsamen Deponierung von Schlamm und Hausmüll
 - Bilanzierung von Schadstoffen (z. B. Schwermetalle bei der Verbrennung), Klärung von Mechanismen bei der Bildung von Schadstoffen (z. B. Dioxine).
 - Entwicklung und Erprobung von Technologien der Sicherung und Sanierung kontaminierter Standorte
 - Verfahren der nachträglichen Dichtung und Abdeckung
 - Absperrung durch Injektionsverfahren
 - In-situ-Sanierung kontaminierter Standorte und überbelasteter Nutzflächen
 - Entwicklung von Analyse- und Bewertungsverfahren zur Einschätzung der Sanierungsbedürftigkeit
 - Entwicklung von Monitoring-Verfahren mit dem Ziel der Langzeitüberwachung.
6. *Weiter- und Neuentwicklung sowie Erprobung von Verfahren der Sonderabfallbehandlung und -verwertung*
- Verfahren der thermischen und chemisch-physikalischen Behandlung von Sonderabfällen
 - Verfahren der Vorbehandlung (z. B. Aufkonzentrierung, Entwässerung) und Verfestigung von Sonderabfällen mit dem Ziel der Verbesserung der Deponierbarkeit
 - Verfahren zur Reinigung hochbelasteter Sickerwässer aus Sonderabfalldeponien und Verbesserung von Dichtungs- und Absperrverfahren
 - Entgiftung
 - Verfahren und Methoden zur nachträglichen Sanierung.
7. *Vermeidung, Verminderung, Verwertung von Produktionsrückständen*
- Rückstandsarme Produktionsverfahren, Rückstandsverwertung im Produktionsverbund insbesondere zur Reduzierung der bisher durch Hohe-See-Verbringung entsorgten Rückstände
 - Demonstration von Maßnahmen der Rückstandsvermeidung/Verwertung in ausgewählten sonderabfallintensiven Teilbranchen der mittelständigen Industrie
 - Förderung der Umsetzung der Ergebnisse erfolgreich abgeschlossener FE-Vorhaben in die betriebliche Praxis von Klein- und Mittelbetrieben (Technologietransfer) z. B.

- Rückstandsvermeidung und -verwertung in der Oberflächenbehandlung,
- in der Lebens- und Futtermittelindustrie,
- im Baugewerbe (Bauschutt- und Altholzverwertung)
- Abfallvermeidung durch Entwicklung umweltfreundlicher Produkte, recyclinggerechte Produktgestaltung, Produktentwicklungen auf Sekundärrohstoffbasis (z. B. Altpapier, gemischte Kunststoffabfälle).

4.2.3 Internationale Zusammenarbeit

Im internationalen Vergleich hat die Abfalltechnik der Bundesrepublik einen hohen Entwicklungsstand erreicht. In der internationalen Zusammenarbeit richtet sich das Interesse ausländischer Partner zunehmend auf technologische Entwicklungen auf dem Gebiet der kommunalen Abfallentsorgung und industriellen Abfallwirtschaft. Es besteht insbesondere ein enger Erfahrungsaustausch mit Japan und den USA. Darüber hinaus sind Zusammenarbeitsprojekte mit einzelnen Entwicklungsländern in Vorbereitung.

4.3 Luftreinhaltung

4.3.1 Ausgangslage

Die Luftreinhaltung, die schon im Umweltprogramm von 1971 besonderes Gewicht hatte, ist ein Schwerpunkt von herausragender Bedeutung. Gesetzgeberische Maßnahmen wie das Benzinbleigesetz (1971), das Bundes-Immissionsschutzgesetz (1974) und die zu seiner Ausführung erlassenen Verwaltungsvorschriften wie die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft 1974), haben wichtige Grundlagen für die Begrenzung von Emissionen und sonstige Anforderungen an genehmigungsbedürftige Anlagen geschaffen. Daß die hierdurch erreichten Ergebnisse zwar erfreulich, weitere Verbesserungen jedoch erforderlich sind, wird durch den 2. Immissionsschutzbericht der Bundesregierung (1982) dokumentiert. So sind die 1983 in Kraft getretenen verschärften Immissionswerte der Novelle zur TA-Luft sowie die Großfeuerungsanlagen-Verordnung (1983) wichtige weitere Schritte auf dem Wege zu einer verbesserten Luftreinhaltungspolitik. Dies gilt auch für die ab 1. Januar 1986 vorgesehene weitere Reduzierung der Schadstoffe in Autoabgasen und die Einführung bleifreien Benzins. Eine weitere Novellierung der Emissionswerte der TA-Luft mit dem Ziel, die Abgasreinigung von mehr als 40 industriellen Anlagenarten an den Stand der Technik anzupassen und vor allem den Ausstoß von Stäuben, Schwermetallen und Kohlenwasserstoffen erheblich zu verringern, ist in Vorbereitung. Diese Maßnahmen tragen der Erkenntnis Rechnung, daß es nicht ausreicht, Luftverunreinigungen so zu begrenzen, daß gesundheitsgefährdende Belastungen für den Menschen ausgeschlossen werden können, wobei auch die Wirkung von geringen Schadstoffkonzentrationen über län-

gere Zeiträume Rechnung zu tragen ist; wichtiges Anliegen einer vorsorgenden Umweltschutzpolitik muß es vielmehr auch sein, die gegenüber den Luftschadstoffen vielfach sehr viel empfindlichere Tier- und Pflanzenwelt zu schützen.

Die Luftbelastung in der Bundesrepublik Deutschland wird im wesentlichen durch die Verursachergruppen Energieerzeugung, Verkehr und industrielle Prozesse, in Teilbereichen zusätzlich auch durch den Hausbrand, bestimmt. Die wichtigsten Emissionen sind hierbei nach den für 1982 vorliegenden vorläufigen Angaben:

- Schwefeldioxid ca. 3,3 Mio. t/a, hiervon ca. 90 % durch die Energieerzeugung und industrielle Prozesse
- Stickoxid ca. 3 Mio. t/a, seit Mitte der sechziger Jahre mit steigender Tendenz, hiervon ca. 90 % durch die Energieerzeugung und den Verkehr
- Kohlenmonoxid 8,3 Mio. t/a, hiervon ca. 85 % durch den Verkehr und Haushalte bzw. Kleinverbrauch
- Staub ca. 0,7 Mio. t/a, hiervon ca. 65 % durch industrielle Prozesse
- Organische Verbindungen ca. 1,7 Mio. t/a, etwa zu gleichen Teilen durch Verkehr, industrielle Prozesse und Haushalte/Kleinverbrauch.

Neben großflächig auftretenden Luftverunreinigungen sind in der Nachbarschaft von Industrieanlagen oft spezifische Schadstoffe für die besondere Belastungssituation kennzeichnend. Beispiele hierfür sind Schwermetalle wie Blei, Thallium und Cadmium in der Umgebung von Metall- und Steine-/Erden-Industrie, Pestizide wie Hexachlorcyclohexan-Isomere in der Umgebung von Betrieben zur Pflanzenschutzmittelproduktion sowie Gerüche in der Umgebung von Mineralölraffinerien, Kokereien und Betrieben der Nahrungsmittelherstellung.

Bislang durchgeführte technische Maßnahmen zur Emissionsverminderung haben dazu geführt, daß insbesondere in den Ballungsgebieten die hohen Belastungen abgebaut werden konnten. Trotzdem ist die derzeitige Luftbelastung in der Bundesrepublik Deutschland nach Auffassung der Bundesregierung bei einigen Schadstoffen (Schwefeldioxid, Stickoxide, Schwermetalle) zu hoch und hat bei den Stickoxiden noch steigende Tendenz. Auch ist festzustellen, daß die Abnahme der Schadstoffbelastung in Ballungsgebieten teilweise einherging mit einer Immissionszunahme in entfernt liegenden, bisher wenig belasteten Gebieten.

Der ständigen Weiterentwicklung und beschleunigten Anwendung von Verfahren zur Emissionsminderung kommt daher eine besondere Bedeutung für eine verbesserte Luftreinhaltungspolitik zu.

4.3.2 Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen

Luftverunreinigungen müssen in ihren unmittelbaren Wirkungen auf Mensch, Tier und Pflanze unter-

sucht werden. Dies geschieht insbesondere für Schadstoffe wie Schwefeldioxid, Stickoxide, Schwermetalle, karzinogene Stoffe und chlororganische Verbindungen. Zunehmend steht daher auch die Wirkung von Stoffkombinationen im Vordergrund der Forschung, da insbesondere in Ballungsgebieten Schadstoffe selten allein, sondern überwiegend als Gemisch der verschiedensten Luftverunreinigungen vorkommen. Außerdem treten Schadstoffe selten in sehr hohen, zu akuten Wirkungen führenden Konzentrationen auf, vielmehr müssen auch chronische und Langzeitwirkungen erforscht werden. Soweit Schadstoffe in die Atmosphäre gelangen, sind insbesondere Reaktions-, Umwandlungs- und Transportphänomene zu untersuchen. Insoweit ist auf das Kapitel 'Ökologische Forschung' zu verweisen.

Neben den Wirkungsuntersuchungen liegt ein Förderschwerpunkt von besonderer Bedeutung bei der Entwicklung von Technologien, die die Emission von Schadstoffen an der Quelle reduzieren oder wo immer möglich durch neuartige umweltfreundliche Prozesse vollständig vermeiden.

4.3.2.1 Bisherige Förderschwerpunkte

Die Fördermaßnahmen des BMFT zur Minderung von Luftschadstoffen erstrecken sich hauptsächlich auf die Verursachergruppen Energieerzeugung (im wesentlichen im Rahmen des Fachprogramms „Energieforschung und Energietechnologie“), Verkehr (im wesentlichen im Rahmen des Fachprogramms „Transport- und Verkehrssysteme“) und industrielle Prozesse.

Die durch den Einsatz von Kohle entstehenden Umweltbelastungen können nur durch Entwicklung und beschleunigte Anwendung von Technologien gemindert werden, mit denen die Kohle im Vergleich zu den heute verfügbaren Technologien umweltfreundlicher und wirtschaftlicher genutzt werden kann. Aufbauend auf bisherigen Entwicklungen zur Verringerung der Umweltbelastungen durch Kohlekraftwerke gewinnen in Zukunft vor allem solche Technologien an Bedeutung, bei denen die Emissionsminderung integraler Bestandteil des Verfahrens ist.

Ziel der Entwicklung für kohlegefeuerte Kessel ist es, für kleinere Anlagen wirtschaftlich vertretbare Emissionsminderungsmaßnahmen zu finden. An der Verbesserung dieser Technologie wird gearbeitet, hierzu gehören z. B. die Entwicklung von Briquets aus Kohle und Kalkstaub für Rostfeuerungen, wodurch sich voraussichtlich Schwefeldioxid beim Verbrennungsvorgang einbinden läßt. Für diesen Leistungsbereich ist vor allem die Wirbelschichtfeuerung geeignet, die für Anlagen bis etwa 130 MW_{th} (stationäre Wirbelschicht) bzw. 400 MW_{th} (zirkulierende Wirbelschicht) weitgehend Marktreife erreicht hat.

Die Wirbelschichtfeuerung kann für höhere Leistungen eingesetzt werden, wenn sie mit aufgeladenem Kessel betrieben wird. In dieser Form ist sie besonders für umweltfreundliche Heizkraftwerke geeignet.

Im Bereich der konventionellen Kraftwerkstechnik wurden in der Vergangenheit vor allem die Rauchgasentschwefelung und damit verbundene Probleme untersucht. Diese Entwicklungen sind heute weitgehend abgeschlossen. Bisheriger Höhepunkt dieser Entwicklung ist das Modellkraftwerk Völklingen, in dem eine Reihe fortschrittlicher Technologien verwirklicht wurde. In diesem Kraftwerk werden heute bereits Schwefeldioxid-Emissionen erreicht, die deutlich unter 400 mg/m³ liegen.

Im Bereich der industriellen Prozesse führten neue Verfahrensansätze für nachgeschaltete Reinigungsverfahren (Wirbelkammerentstaubung) zu einem hohen Abscheidegrad von Feinstaub bei relativ geringem Aufwand. Das Verfahren wird inzwischen in der Praxis eingesetzt. Weiterhin konnte die Abscheidung von Problemstäuben (u. a. Aerosole organischer Verbindungen) durch Glasfasertiefbetfilter und Glimmermikrosiebe gelöst werden. Durch Optimierung des Reinigungsverfahrens gelang eine simultane Abscheidung von Stäuben und Fluorverbindungen aus Abgasen mit gutem Wirkungsgrad.

Im Bereich des Verkehrs konnten in weiterentwickelten Motorenkonzepten mit neuen technologischen Lösungsansätzen die Schadstoffemissionen deutlich abgesenkt werden. Die Verträglichkeit widersprüchlicher Forderungen nach Kraftstoffausnutzung, abgas- und lärmarmen Betrieb und gleichzeitig erhöhter Sicherheit konnte mit den vier Prototypen des Förderungsvorhabens „Forschungs-Pkw“ nachgewiesen werden. Mit diesen Fahrzeugen werden gegenüber dem Serienstandard um 30 % günstigere Verbrauchswerte erreicht, in den Abgasemissionen die Ziele des Umweltprogramms 1971 erfüllt und bei den Lärmemissionen die Zielvorstellungen der von der Bundesregierung bei der EG vorgeschlagenen Grenzwerte unterschritten.

4.3.2.2 Zukünftige Förderschwerpunkte

Die Entwicklung und Einführung neuer technischer Verfahren im Bereich der Kraftwerke und bei den diversen industriellen Prozessen sowie die Reduzierung der Emissionen auf dem Verkehrssektor müssen mit Priorität weiter verfolgt werden.

Im Bereich der *Energieerzeugung* gewinnen aufbauend auf den bisherigen Entwicklungen zur Verringerung der Umweltbelastung bei Kohlekraftwerken vor allem solche Technologien an Bedeutung, bei denen die Emissionsminderung integraler Bestandteil des Verfahrens ist. Bei einigen dieser Technologien ist zu erwarten, daß sie erheblich unter den Grenzwerten der neuen Großfeuerungsanlagen-Verordnung liegen oder zur Emissionsminderung bei Leistungsgrößen unter 50 MW-thermisch führen.

Drei Technologiebereiche für weitergehende Emissionsminderungen stehen dabei im Vordergrund:

- kohlegefeuerte Kessel von 1 bis 50 MW-thermisch
- Verbesserungen an konventionellen Kraftwerken
- fortgeschrittene Kraftwerkskonzepte.

Durch diese Förderschwerpunkte soll insbesondere eine Minderung der Emissionen von Schwefeldioxid, Stickoxiden, Halogenen bei der Wirbelschichtfeuerung sowie von Schwermetallen und Feinstäuben erreicht werden. Im Mittelpunkt stehen bei den kohlegefeuerten Kesseln Verbesserungen der Wirbelschichtfeuerung.

Die zukünftigen Aktivitäten auf dem Bereich konventioneller Kraftwerke werden ein Schwergewicht auf die Entwicklung von Maßnahmen zur Verringerung der Stickoxid-Emissionen legen. Bei Maßnahmen im Feuerungsraum wurden erste Ergebnisse erzielt, auf denen aufgebaut werden kann. Die Entwicklung von Wäschern zur Abscheidung der Stickoxide wird aufgegriffen werden.

Fortgeschrittene Kraftwerkssysteme haben das technische Potential, bei erträglicher Kostenbelastung und höherem Wirkungsgrad die Stickoxid- und Schwefeldioxid-Emissionen erheblich unter die in der Großfeuerungsanlagenverordnung geforderten Werte zu senken. Es handelt sich dabei um Kraftwerke

- mit einer integrierten Kohledruckvergasung,
- mit einer Druckwirbelschicht.

Die Wirkungsgradverbesserung soll dadurch erreicht werden, daß diese Kraftwerke mit einem kombinierten Gasdampfturbinenprozeß betrieben werden. Diese Entwicklungen sind risikoreich. Der Erfolg kann heute noch nicht garantiert werden. Wichtige Komponenten für die Technologie sind in der Entwicklung (Kohlevergasung, Heißgasreinigung, Hochtemperaturgasturbine), erste Studien für die Gesamtsysteme wurden und werden durchgeführt. Ziel ist es, Anfang der 90er Jahre ein oder zwei Prototypkraftwerke in Betrieb zu nehmen. Im einzelnen wird hierzu auf das Programm „Energieforschung und Energietechnologien“ verwiesen.

An der vom Verkehr ausgehenden Luftschadstoffbelastungen ist vorrangig der Straßenverkehr beteiligt. Neben der Energieeinsparung, Lärmreduzierung und Verbesserung der Sicherheit muß die Emissionsminderung künftig verstärktes Gewicht erhalten. Hierzu gehören Flottenerprobungen schadstoffarmer Betriebssysteme. Die Entwicklung einer fortschrittlichen Pkw-Gasturbine mit wesentlichen keramischen Bauteilen bietet aufgrund der kontinuierlichen Verbrennungsverfahren ausichtsreiche Voraussetzungen für extrem niedrige Schadstoffemissionen.

Um eine signifikante Reduzierung der Emissionen von Luftschadstoffen, die durch die vielfältigen industriellen Prozesse verursacht werden, zu erreichen, müssen FE-Maßnahmen vordringlich in folgenden Bereichen durchgeführt werden:

- Feinstäube mit akkumulierenden, gesundheitsgefährdenden Staubinhaltsstoffen, insbesondere den Schwermetallen Blei und Cadmium.
- Entwicklung von Verfahren und Maßnahmen zur
 - Verringerung diffuser Emissionen (z. B. bei Sinteranlagen, Hochöfen)

- Verringerung von Emissionen bei der Sekundärverhüttung (Schrott) von NE-Metallen
- Verringerung von Schwermetallemissionen bei der Energieerzeugung (u. a. aus Steinkohle)

Hauptproblem ist hierbei die Entfernung von Schadstoffen in sehr geringer Konzentration (ppm) aus großen Volumenströmen (100 000 m³/h).

- säurebildende und vegetationsschädigende Schadstoffe (z. B. Halogenverbindungen, Stickoxide)
- Entwicklung von Verfahren zur Verringerung bzw. Vermeidung von HF-Emissionen durch verbesserte Abscheidung (z. B. bei der Herstellung von grobkeramischen Erzeugnissen)
- Minderung von NO_x-Emissionen und stationären Motoren, industriellen Prozessen und Feuerungsanlagen (Industriefeuerungen) u. a. durch katalytische Prozesse
- Gesundheitsgefährdende insbesondere cancerogene organische Verbindungen
- Entwicklung von Verfahren zur
 - Minderung von FCKW-Emissionen u. a. durch Rückführung
 - Raffination von Ölen und Fetten mit geringer Umweltbelastung
 - Rückführung von Lösemitteln (Beschichtungen, Reinigung u. a.)
- Vorstehende Themen zeigen beispielhaft Minderungsmöglichkeiten bei einigen kritischen organischen Schadstoffen (FCKW, Benzol u. a.).
- Bleiemissionen von Ottokraftstoffen

Entwicklung eines wirtschaftlichen Syntheseverfahrens für bleifreie Antiklopfmittel auf MTBE, BTBE-Basis zur Herstellung von bleifreiem Superbenzin.

Derartige Antiklopfmittel würden die Beibehaltung von hochverdichtenden Motoren beim Einsatz von Katalysatoren ermöglichen. Bisher scheitert dies an der begrenzten Verfügbarkeit (4 Mio. t/a notwendig!) und dem hohen Preis.

4.3.3 Internationale Kooperation

Im Rahmen der EG sowie der OECD, ECE, WMO, WHO, ISO, NATO/CCMS und UNEP beteiligt sich die Bundesrepublik Deutschland an der Weiterentwicklung, dem Informationsaustausch und den Harmonisierungsbemühungen vor allem auf den Gebieten der Entschwefelung von Brennstoffen, der Verringerung der Luftbelastung durch Feinstäube, der Erhaltung der Ozonschicht, der Reduzierung von Schadstoffemissionen der Kraftfahrzeuge und der Minderung von Geräuschemissionen. Im Rahmen ihrer Mitwirkung in der ECE hat die Bundesregierung die inzwischen in Kraft getretene Konvention über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung unterzeichnet und ratifiziert.

4.4 Lärmbekämpfung

4.4.1 Ausgangslage

Die Lärmbelastung in der dichtbesiedelten Bundesrepublik ist, bedingt durch den hohen Stand der Industrialisierung, zu einem ernststen Problem geworden. Es sind in erster Linie die Geräusche von Straßen- und Schienenverkehr sowie von Industrie- und Gewerbebetrieben, die die Belastungen verursachen. So unterschiedlich die Lärmquellen sind, so verschieden sind auch die Auswirkungen auf den Menschen. Diese Schäden sind sowohl psychischer als auch physischer Art und hängen von den Frequenzen, der Intensität des Schalls und der Dauer seiner Einwirkung ab. Erschwerend für eine Objektivierung der Belästigung oder Belastung der Bevölkerung durch Lärm ist, daß seine Einwirkung, subjektiv empfunden, je nach Tageszeit und dem allgemeinen Lärmpegel unterschiedlich bewertet wird. Neben der Standardisierung zuverlässiger Meßmethoden und der sinnvollen Interpretation der Meßergebnisse sind daher Befragungen betroffener Bevölkerungsgruppen erforderlich, um Lärmbelastung objektiv bewerten zu können.

Der Straßenverkehr ist als eine der Hauptlärmquellen anzusehen; seine Bekämpfung ist nur mit einem Bündel von Maßnahmen sinnvoll möglich. Neben technischen Entwicklungen, wie geräuscharme Motore, Herabsetzung des Rollgeräusches von Fahrzeugreifen u. a. gilt es, den Auto- bzw. Motorradbenutzer zu leisem Fahren zu erziehen. Weiter sind verkehrsberuhigte Zonen und entsprechende Ampelschaltungen geeignet, den Straßenverkehrslärm zu vermindern.

Die Lärmbelastung durch den Schienenverkehr trifft aufgrund des wesentlich kleineren Netzes bedeutend weniger Bürger als die durch den Straßenverkehr.

Der Lärm des Luftverkehrs wurde durch verstärkten Einsatz leiserer Flugzeugtypen sowie Start- und Landeverfahren bereits erheblich verringert. Trotzdem fühlt sich ein erheblicher Teil der Bevölkerung ständig oder zeitweilig durch Fluglärm gestört.

Der Industrie- und Gewerbelärm wird von einer Vielzahl Maschinen, Geräten und Anlagen erzeugt und erfordert wegen seines breiten Schallfrequenzspektrums unterschiedlicher Intensität dem speziellen Problem jeweils angepaßte Maßnahmen. Durch die FuE-Aktivitäten zur „Humanisierung des Arbeitslebens“, die sich mit einer Bekämpfung des Lärms am Arbeitsplatz befassen, werden in der Regel Probleme des Industrie- und Gewerbelärms, der sich als Nachbarschaftslärm auswirkt, überwiegend mitgelöst. Der „lärmbereinigte Arbeitsplatz“, die leiser gewordene Maschine oder Anlage, dient auch der Lärmberuhigung umliegender Bereiche.

Ähnliches gilt für den Baulärm, der bedingt durch die starke Technisierung weitgehend dem Industrielärm gleicht mit dem Unterschied, daß die Maschinen und Geräte fast immer im Freien stehen und somit deren Lärm ungedämpft auf die Nachbarschaft einwirken kann. Während bei Industrie-

und Gewerbelärm bauliche Maßnahmen Abhilfe schaffen können, muß der Baulärm direkt an der Quelle bekämpft werden.

4.4.2 Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen

Die Fördermaßnahmen des BMFT zur Minderung der Lärmemissionen sind im wesentlichen in die Fachprogramme „Humanisierung des Arbeitslebens“ und „Transport- und Verkehrssysteme“ integriert.

4.4.2.1 Bisherige Förderschwerpunkte

Die Forschungsaktivitäten konzentrieren sich vor allem auf folgende Bereiche:

- Minderung des Lärms bei stationären und mobilen Einzelemittenten in Industrie und Gewerbe sowie bei großflächigen Anlagen durch Entwicklung lärmarmen Techniken.
- Entwicklung oder Verbesserung der Geräuschmeßverfahren und -methoden zur Bewertung von Geräuschen und Erschütterungen.

Eine Reihe von FE-Vorhaben führte zu dem Ergebnis, daß es möglich ist, durch entsprechende Maßnahmen den Lärm wesentlich zu verringern.

4.4.2.2 Zukünftige Förderschwerpunkte

Die künftigen FE-Schwerpunkte liegen vor allem bei einer Lärmbekämpfung am Arbeitsplatz sowie im Verkehr.

Im Rahmen des Programms „Humanisierung des Arbeitslebens“ sollen vorrangig bearbeitet werden:

- Umkonstruktion von Geräten, Maschinen und Anlagen zur Einhaltung von Arbeitsschutzvorschriften
- Untersuchung des von außen einwirkenden Lärms und der Lärmentstehung am verursachenden Objekt
- Untersuchungen über die Verständlichkeit von akustischen Signalen beim Tragen von persönlichem Schallschutz (insbesondere von Gefahrensignalen)
- Zusammenfassende Auswertung und Verbreitung von Projektergebnissen zur Lärmminde-

Im Programm „Transport und Verkehrssystem“ werden untersucht:

- Minderung des Ablaufgeräusches von Kfz-Reifen
- Lärmarme Motoren (geräuscharme Dieselmotoren sowie elektrische Dualbusantriebe)
- Minderung des Schienenlärms von Nahverkehrsbahnen.

Neben den vorgenannten projektbezogenen FE-Aktivitäten sollen Grundsatzuntersuchungen zur Lärmbekämpfung u. a.

- Rechenverfahren und mathematische Modelle zur Lärminderung an der Quelle,
- Minderung des Lärms durch planerische und bauliche Maßnahmen zur Unterstützung der auf eine Emissionsminderung an den Quellen zielenden Aktivitäten mit Instrumenten der Raumordnung und städtebaulichen Planung,
- Untersuchung der physischen und sozialen Auswirkungen von Lärm zur Klärung der Zusammenhänge zwischen subjektiven Reaktionen des einzelnen auf das Geräusch und den dazugehörigen physikalisch meßbaren Größen

durchgeführt werden.

4.5 Reinhaltung des Meeres

4.5.1 Ausgangslage

Die Reinhaltung des Meeres ist eine Aufgabe von hoher Aktualität. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) hat in seinem Sondergutachten „Umweltprobleme der Nordsee“ (1980) darauf hingewiesen, daß die Nordsee nach dem derzeitigen Stand des Wissens noch keine großräumigen Schäden erkennen läßt, daß aber bereits Teile des Küstenmeeres und die Ästuare geschädigt sind und die Nordsee geradezu zum Testfall für die Durchsetzung des Vorsorgeprinzips wird. Hierbei sind es nicht nur die spektakulären Ereignisse von Tankerunfällen oder von Erdölausbrüchen bei Offshorebohrungen, die nachhaltige Schädigungen verursachen können. Vielmehr bedeutet auch der kontinuierliche Schadstoffeintrag von Land, über die Flüsse und die Atmosphäre bzw. durch direkte Ein- und Ableitungen von Industrieabfällen sowie durch unerlaubte Einleitung aus dem Schiffsbetrieb eine Bedrohung für die Meeresumwelt. Hier gilt es vorrangig mit Minderungsmaßnahmen anzusetzen.

Die Verschmutzung des Meeres durch Tankerunfälle und infolge des unerlaubten Ablassens von Öl (Tankreinigung, Bilgenwasser usw.) kann großen ökologischen und ökonomischen Schaden (Fischfang, Fremdenverkehr) nach sich ziehen. Insbesondere ist eine starke Beeinträchtigung des empfindlichen Ökosystems Wattenmeer zu befürchten.

Die Bekämpfung von Ölverschmutzung bei Tankerunfällen und Fragen einer gegenseitigen Hilfeleistung sind zwischen den Nord- und Ostseeanliegerstaaten in den Abkommen von Bonn und Helsinki geregelt. Eine wirkungsvolle Ölbekämpfung stößt aber auf technische Schwierigkeiten, weil die derzeit verfügbaren Verfahren und Geräte insbesondere bei rauen Seebedingungen nur begrenzt einsetzbar sind. Es ist daher notwendig, die technischen Voraussetzungen für eine wirkungsvolle Ölbekämpfung auch unter ungünstigen Einsatzbedingungen (rauhes Wetter mit größeren Wellenhöhen, geringe Ölschichtdicken) zu schaffen. Bei den speziellen Gegebenheiten des deutschen Wattenmeeres fehlen ebenfalls wesentliche technische Voraussetzungen für eine effiziente Ölbekämpfung.

4.5.2 Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen

In der Forschung und Bekämpfung der Meeresverschmutzung konnten in den letzten Jahren wichtige neue Erkenntnisse gewonnen werden, jedoch ist die Zahl der offenen Fragen sowohl im grundlegenden Bereich wie auch bei den technischen Verfahren nach wie vor groß. Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sind vor allem auf folgende Ziele ausgerichtet:

- Schutz der marinen Tier- und Pflanzenwelt durch Untersuchungen über Toxizität, Transport und Verbleib von Schadstoffen
- Entwicklung von Analyse- und Überwachungsmethoden der Meeresverschmutzung
- Schaffung der technischen Voraussetzungen für eine wirkungsvolle Bekämpfung von Öl und anderen Schadstoffen (Chemikalien) an der Küste und auf See auch unter ungünstigen Einsatzbedingungen.

4.5.2.1 Bisherige Förderschwerpunkte

Die bisherigen FE-Arbeiten konzentrieren sich auf

- Eingrenzen von Ölverschmutzungen

Es wurde eine Reihe von Ölabsperssystemen untersucht, die insbesondere auf Hoher See bei Wind, Seegang und Strömung eingesetzt werden können. Hierbei hat sich eine am Einsatzort aus den Komponenten schäumende Endlossperre als besonders geeignet erwiesen.

- Entfernen von Ölverunreinigungen

Die Entwicklung des Ölauffangschiffes „Thor“ wurde abgeschlossen. Bei der anschließenden einjährigen Erprobung in der Nord- und Ostsee, die Versuche unter Einsatzbedingungen (Entfernung von Ölteppichen bei Seegang) einschloß, bewährte sich die neuartige Konstruktion des Schiffes (Scherenbauweise). Somit steht erstmals ein Fahrzeug zur Verfügung, das in der Lage ist, auch bei ungünstigen Seebedingungen Ölverunreinigungen wirkungsvoll zu bekämpfen. Aufgrund der positiven Erprobungsergebnisse wurde das Schiff von den Vertragspartnern des Verwaltungsabkommens zur Ölbekämpfung als Einsatzfahrzeug zur Ölbekämpfung angekauft.

Eine Reihe von neu entwickelten Abschöpfgeräten (Ölabsaugteppich, Ölabschöpfbarge) erwies sich als aussichtsreich.

- Vorhersage der Ausbreitung und Verdriftung von Öl nach einem Unfall mit Hilfe von Rechenmodellen.

4.5.2.2 Zukünftige Förderschwerpunkte

Bei den zukünftigen FE-Fördermaßnahmen (vgl. auch Gesamtprogramm Meeresforschung und -technik) zur Bekämpfung von Ölverschmutzungen und anderen Schadstoffen (Chemikalien) sollen im Vordergrund stehen:

- Wirkungsvolle Verfahren zur Trennung von Öl/Wassergemischen, um die auf See sehr begrenzter Tankkapazität optimal nutzen zu können,
- Entsorgung bzw. Aufarbeitung der anfallenden Öl/Wasser- bzw. Öl/Sandgemische durch Destillation, thermische Spaltung und biologische Verfahren,
- Reinigung von Watt- und Strandgebieten. Aufbau von kompletten Einsatzsystemen einschl. wattungsfähiger Fahrzeuge, mobiler Reinigungsanlagen u. a.
- Verfahren zur Bekämpfung von Chemikalienverunreinigungen auf See einschl. Aufarbeitung der Rückstände.

4.5.3 Internationale Zusammenarbeit

Zahlreiche internationale Organisationen befassen sich mit Fragen des Meeresumweltschutzes. Zur Koordination der wissenschaftlichen Aktivitäten der VN und einiger ihrer Unterorganisationen (wie IMO, FAO, UNESCO-IOC, WMO, WHO, IAEQ) sowie UNEP besteht eine Gemeinsame Expertengruppe

für die wissenschaftlichen Aspekte der Meeresverschmutzung (GESAMP). Von den Programmen der einzelnen Organisationen sind besonders das Programm „Global Investigation of Pollution in the Marine Environment (GIMPE)“ der IOC sowie die Arbeit des Laboratoriums der IAEQ in Monaco hervorzuheben. An diesen Aktivitäten sind deutsche Wissenschaftler aktiv beteiligt. Daneben besteht im Rahmen der verschiedenen Konventionen zur Meeresreinhaltung (Bonn 1969, Oslo 1972, London 1972, Helsinki 1974, Paris 1974) ein intensiver Erfahrungsaustausch über die nationalen FuE-Aktivitäten. In Zukunft werden auch die Umweltschutzregelungen des Seerechtsübereinkommens von 1982 die wissenschaftliche Diskussion stark beeinflussen.

Für die Europäische Gemeinschaft ist insbesondere das Sektorale F- und E-Programm auf dem Gebiet der Umwelt (1981 bis 1985) zu nennen, mit dem auch Probleme des Meeresumweltschutzes wie z. B. die Bekämpfung von Ölverschmutzung aufgegriffen wurden. Im nichtstaatlichen Bereich arbeitet die DFG im Internationalen Rat wissenschaftlicher Unionen (ICSU) mit, dessen Wissenschaftlicher Ausschuss für die Erforschung der Ozeane (SCOR) zahlreiche Arbeitsgruppen für Fragen des Meeresumweltschutzes hat.

5. Emissionsarme Technologien und Produkte

5.1 Ausgangslage

Die Begrenzung von Schadstoffemissionen aus industriellen Prozessen erfolgte in der Vergangenheit überwiegend durch prozeßnachgeschaltete Reinigungsmaßnahmen. Diese können in der Regel ohne große Anpassungsprobleme angewendet werden und erlauben, Umweltbelastungen relativ kurzfristig zu verringern. Die Schadstoffe werden hierdurch zwar abgefangen, ihre Entstehung während des Prozesses wird aber nicht eingeschränkt. Bei schwer bzw. nicht abbaubaren Schadstoffen (z. B. Schwermetallen) können nachgeschaltete Abscheidetechnologien zu einer Verlagerung der Umweltbelastung führen (kontaminierte Filterstäube, Klärschlamm). Außerdem sind hohe Reinheitsanforderungen häufig nur mit unverhältnismäßig großem technischen Aufwand zu erfüllen.

Langfristig gewinnen daher emissionsarme Verfahren, die eine Entstehung von Schadstoffen an der Quelle weitgehend vermeiden, als wirkungsvollere und letztlich auch wirtschaftlichere Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Umwelt an Bedeutung.

Diese Technologien können auf

- einer Optimierung des bisherigen Verfahrens im Hinblick auf einen emissionsarmen Betrieb;
- prozeßintegrierten Reinigungsmaßnahmen wie Kreislaufschließung, innerbetrieblichem Recycling;

- einer neuen Verfahrenstechnik beruhen.

Bei einer durchgreifenden Umnstellung der Produktionstechnologie kann der Schadstoffaustrag häufig auf einen Bruchteil des ursprünglichen Wertes reduziert werden. Die schadstoffvermeidenden (vorbeugenden) Umweltschutztechniken haben gegenüber nachgeschalteten (reparierenden) Maßnahmen oft auch den Vorteil, daß eine bessere Nutzung von Energie und Rohstoffen möglich ist.

Neben emissionsarmen Produktionstechnologien können umweltfreundliche Stoffe und Produkte einen wichtigen Beitrag zum Umweltschutz leisten. Durch diese werden produktspezifische Emissionen (z. B. Asbest) bei der Anwendung und nach dem Gebrauch (d. h. im Abfall) vermieden.

Emissionsarme Stoffe und Produkte können erhalten werden durch

- Entfernung von umweltbelastenden Begleitstoffen (z. B. Schwermetallen), also einer Reinigung der Produkte
- Substitution der umweltbelastenden Einsatzstoffe (z. B. Cadmium) durch ökologisch unbedenkliche Materialien.

Die Ergebnisse bei der Entwicklung emissionsarmer Verfahren und Produkte haben in einer Reihe von Fällen gezeigt, daß eine weitgehende Emis-

sionsminderung ohne Verlust der Wirtschaftlichkeit möglich ist.

Allerdings schließt die Entwicklung insbesondere von neuen emissionsarmen Verfahren und Produkten oft ein beträchtliches Entwicklungs- und Marktrisiko ein und ist sehr kosten- und zeitaufwendig. Insbesondere mittelständische Unternehmen sind oft überfordert, solche Entwicklungsprojekte aus eigener Kraft durchzuführen, zumal im Anschluß an die Entwicklung weitere (hohe) Kosten für die Erstellung der Produktionsanlagen anfallen.

Andererseits ist es umweltpolitisch und volkswirtschaftlich von Nutzen, wenn bei Neuinvestitionen Verfahren und Produkte Anwendung finden, bei denen die Schadstoffemissionen so gering wie technisch möglich und nicht so hoch wie nach den gesetzlichen Grenzwerten zugelassen sind. Auch kann die Entwicklung und Einführung emissionsarmer Technologien langfristig die Wettbewerbsposition der deutschen Industrie stärken, Arbeitsplätze erhalten und Exportchancen eröffnen.

Darüber hinaus weisen emissionsarme Verfahren die technischen Möglichkeiten für eine weitergehende Emissionsminderung nach und schaffen damit erst die praktischen Voraussetzungen für verschärfte regulatorische Maßnahmen.

5.2 Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen

Das BMFT hat in den letzten Jahren Vorhaben zur Entwicklung und Demonstration emissionsarmer Verfahren in ausgewählten, zumeist besonders abwasser- oder abluftintensiven Industriebereichen unterstützt. Diese Anstrengungen werden mit Nachdruck fortgesetzt.

5.1.1 Bisherige Förderschwerpunkte

Die bisherigen FuE-Fördermaßnahmen konzentrieren sich im *Abwasserbereich* auf einige ausgewählte, kritische Schadstoffe. Insbesondere konnte eine beträchtliche Minderung der Emissionen erreicht werden bei

- den Schwermetallen Cadmium, Zink und Nickel, die in der Galvanotechnik, sowie Chrom, das bei der Lederherstellung Anwendung findet,
- sauerstoffzehrenden, organischen Stoffen (Textilhilfsmitteln, Farbstoffen und Gerbchemikalien), die bei der Textil- und Lederherstellung sowie Papierhilfsstoffen, die bei der Papierherstellung eingesetzt werden,
- hochtoxischen, organischen Chlorverbindungen, die beim Bleichen von Zellstoff entstehen.

Weiterhin war die Entwicklung von nahezu abwasserfreien Verfahren zum Färben von Textilien und zur Herstellung von Zellstoff erfolgreich.

Im *Abluftbereich* konnten durch emissionsarme Verfahren insbesondere Emissionen von

- Blei und Schwefeldioxid bei der Primärverhüttung sowie Blei und Arsen bei der Bleiglasherstellung
- Formaldehyd bei der Spanplattenherstellung
- Fluor- und Fluorwasserstoffen beim feinkeramischen Brand

beträchtlich vermindert werden.

5.2.2 Zukünftige Förderschwerpunkte

Bei den künftigen FuE-Fördermaßnahmen auf dem Gebiet der emissionsarmen Technologien und Produkte sollen die folgenden Schadstoffe im Vordergrund stehen:

— Schwermetalle

Nachdem durch die bisherigen FE-Aktivitäten der Schwermetalleintrag in das Abwasser wesentlich reduziert werden konnte, sollen künftig vor allem Schwermetallemissionen (Cadmium, Thallium, Blei, Zink, Chrom, Nickel, Arsen) in die Luft verringert werden.

Hierbei ist neben einer Optimierung pyrometallurgischer Prozesse auch an den Einsatz hydrometallurgischer Verfahren sowie Verringerung schwermetallhaltiger Stäube durch Gemengepelletierung gedacht. Weiterhin ist die Entfernung von Schwermetallverunreinigungen aus Produkten (z. B. Cadmium aus Phosphatdüngern) sowie die Substitution von Cadmium durch Aluminium bzw. Silberlegierung bei galvanischen Überzügen und Elektrowerkstoffen vorgesehen.

— Schwefeldioxid, Stickoxide, Fluorwasserstoff, Chlorwasserstoff, Oxydantien

Reduzierung von lokal kritischen Schwefeldioxid- und Stickoxidemissionen aus industriellen Prozessen. Optimierung der Prozeßlenkung beim grobkeramischen Brand sowie Ersatz der umweltbelastenden Aluminium-Schmelzflußelektrolyse durch andere Verfahren zur Minderung der Emissionen von Fluorwasserstoff.

— Gesundheitsgefährdende organische Verbindungen

Minderung der Emissionen von Luftschadstoffen (Benzol u. a.) bei der Herstellung und Anwendung von Lacken, Lösungsmitteln, Kraftstoffen u. a. Vermeidung von cancerogenen organischen Stäuben (polyzyklischen Kohlenwasserstoffen) bei thermischen Prozessen.

— Sauerstoffzehrende Stoffe

Verminderung der in das Abwasser gelangenden stark sauerstoffzehrenden Stoffe aus der Nahrungsmittelherstellung (Milch-, Fleisch-, Obst- und Gemüseverarbeitung und Getränkeherstellung).

5.3 Internationale Kooperation

Einige Vorhaben auf dem Gebiet der schadstoffarmen Produktion und Verarbeitung (z. B. Zellstoff-

herstellung) werden im Rahmen bilateraler Kooperationsabkommen mit anderen Ländern durchgeführt. Es ist geplant, diesen Know-how-Transfer fortzusetzen. Hierbei sind vorrangig Produktions- und Verarbeitungsverfahren auf Gebieten von Interesse, auf denen in den betreffenden Ländern bereits gearbeitet wird. Hierzu zählen die

- Metallurgie (Minderung der Schwermetalle sowie Schwefeldioxid)
- Galvanotechnik (Vermeidung von Schwermetallen im Abwasser)
- Textilveredelung und Lederherstellung (Reduzierung von sauerstoffzehrenden Stoffen).

6. Anhänge

- Übersicht über die mittelfristige Finanzplanung
- Mittel- und Schwerpunktübersicht der AGF
- Projektträger
- Abkürzungsverzeichnis

Anhang 6.1

Übersicht über die mittelfristige Finanzplanung

— Projektförderung¹⁾ —

in Mio DM

Stand 7. Februar 1984

BMFT	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1978 bis 1983	1984	1985	1986	1987	1988	1984 bis 1988 ²⁾
— Forschungs- und Entwicklungsvorhaben für Aufgaben der Umweltforschung	37,8	45,7	48,5	47,5	51,5	50,0	281,0	61,0	76,1	84,0	93,0	94,6	408,7
— Investitionszuschüsse für Anlagen im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben der Umweltforschung	5,5	25,3	35,5	36,5	53,0	41,0	196,8	43,5	53,9	58,0	63,0	64,4	282,8
insgesamt ...	43,3	71,0	84,0	84,0	104,5	91,0	477,8	104,5	130,0	142,0	156,0	159,0	691,5

¹⁾ Die Übersicht umfaßt nur die in den Titeln für ökologische Forschung und Umwelttechnologie ausgewiesenen Mittel, nicht hingegen die Aufwendungen für umweltrelevante Vorhaben aus den übrigen Fachprogrammen des BMFT und der Großforschungseinrichtungen.

²⁾ Vorbehaltlich der Fortschreibung der Gesamtfinanzplanung.

Anhang 6.2

Mittel- und Schwerpunktübersicht der Arbeitsgemeinschaft der Großforschungseinrichtungen

A. Wirkung menschlicher Eingriffe auf ausgewählte Ökosysteme

3.1 Boden- und Wasserhaushalt

3 Großforschungseinrichtungen leisten zu diesem Thema wesentliche Beiträge

GKSS Untersuchungen zur thermischen Belastung von Flüssen;
Belastungszustände in Tidegewässern

GSF Erforschung von Wasservorräten und Transportwegen;
Verhalten von Chemikalien in terrestrischen Ökosystemen

KFA Versuch zur Charakterisierung chemisch-analytisch nicht faßbarer Wirkstoffe im Boden

Aufwendungen und Mannjahre 1984

	MJ	Mio. DM
GSF	30,0	6,6
GKSS	4,0	0,9
KFA	18,0	4,3

3.2 Waldschäden durch Luftverunreinigungen

1. Vorhaben der Grundlagenforschung

Diese Vorhaben liefern Beiträge zum besseren Verständnis der komplexen chemischen und biologischen Zusammenhänge in der Atmosphäre und in belebten Umweltsystemen. Umfassende Kenntnisse

können helfen, Schutzmaßnahmen und Vorsorge-
maßnahmen vor Waldschäden zu treffen.

- KFA** Aufklärung der chemisch-physikalischen Umwandlungs- und Abbauprozesse von Schadstoffen und natürlichen Spurengasen in der Atmosphäre;
Aufklärung der Chemie der verschmutzten Atmosphäre insbesondere der Chemie der Schwefel- und Stickstoffverbindungen
- GSF** Gasphasenreaktion in Laborversuchen zur Aufklärung der Reaktionsmechanismen organischer Schadstoffe anthropogenen Ursprungs mit UV-Licht und Radikalen;
Auswahl geeigneter Bioindikatoren, an Hand derer man den aktuellen Schadstoffbelastungszustand einer Region erfassen kann;
Entwicklung von Modellsystemen, um im Labor die Wechselbeziehung zwischen Chemikalien und pflanzlichen und tierischen Organismen nachzuvollziehen. Schwerpunkt liegt auf Systemen Atmosphäre — Pflanze
- KfK** Als Beitrag zur mesoskaligen Immissionsprognose von Schadstoffen aus der Energieumwandlung soll mit Hilfe von experimentellen und modelltheoretischen Untersuchungen die Bildung von Aerosolsystemen und das physikalische und chemische Verhalten partikelförmiger Reaktionsprodukte in der Troposphäre modellmäßig beschrieben werden.

3.3 Marine und polare Ökosysteme

An diesem Thema sind schwerpunktmäßig 3 Großforschungseinrichtungen beteiligt.

- AWI** — Untersuchungen über Struktur und Dynamik der polaren Ökosysteme als Basis einer ökologisch fundierten Nutzung der Ressourcen
— Spurenelementanalyse in polaren Organismen und Eis
- GKSS** Ökologische Untersuchungen auch in Zusammenhang mit Fragen der Rohstoffgewinnung und der Ansiedlung und des Betriebs von Industrieanlagen im On- und Offshore-Bereich der Nord- und Ostsee;
Entwicklung von Methoden und Techniken zur Schadstoffmessung
- KFA** Spurenelementanalyse im Meerwasser

Aufwendungen und Mannjahre 1984

	MJ	Mio. DM
AWI	4	0,8
GKSS	10	2,4
KFA	2	0,2

3.4

a) Klima und atmosphärische Schadstoffkreisläufe

- AWI** — Untersuchung großräumiger Wechselwirkungen zwischen Ozean, Eisbedeckung und Atmosphäre und deren Einfluß auf das Klimageschehen
— Untersuchungen über den CO₂-Haushalt der Atmosphäre

Hier arbeiten derzeit 4 Großforschungseinrichtungen schwerpunktmäßig an meteorologischer Grundlagenforschung und an Modellentwicklung über Ausbreitungs- und Transportphänomene.

Die Beiträge wurden unter 3.2 bereits aufgeführt.

b) Entwicklung von Meßmethoden zur Erfassung von anthropogenen Schadstoffen in der Atmosphäre

Die AGF hat ihre Aktivitäten auf die Entwicklung und den Einsatz moderner Laser-Methoden zur Schadstoffmessung in der Atmosphäre konzentriert.

- GKSS** Fernmeßverfahren unter Anwendung der Laseroptik zur Bestimmung von Luftverunreinigungen
- DFVLR** Entwicklung von Laserverfahren zur qualitativen Erfassung der anthropogenen Beeinflussung allgemeiner atmosphärischer Prozesse
- KFA** Eintrag, Transformation und Bilanzierung toxischer Metallverbindungen und organischer Schadstoffe

3.5 Umweltchemikalien in Nahrungs- und Futtermitteln

Die GSF bearbeitet dieses Thema schwerpunktmäßig

- GSF** Methodologie zur Erfassung von Umweltchemikalien und deren Veränderung in der Nahrungsmitteltechnologie

Aufwendungen und Mannjahre 1984

	MJ	Mio. DM
GSF	4	0,9

3.6 Wirkungsforschung

Auf dem Gebiet der Wirkungsforschung wurden bisher nur einige Vorhaben bearbeitet. Dieses Gebiet soll besonders in der GSF ausgeweitet werden.

- GSF** Studiert wird die Einwirkung von Sulfid, Stickoxiden und anderen Schadstoffen

(auch in Kombination) in Konzentrationen, wie sie in der Luft von Industrie- und Ballungsräumen vorliegen, auf Stoffwechselprozesse insbesondere auf die Enzyme des Energiestoffwechsels von Tier und Pflanze. Viele Schadstoffe liegen in der Umwelt als Aerosole vor. Um das Gesundheitsrisiko bei der Inhalation von Umweltaerosolen quantitativ zu formulieren, werden experimentelle Daten erhoben, um das Verhalten von Aerosolen zu charakterisieren.

KfK Unter Einsatz geeigneter radioaktiver Tracer wird die Vitalität verschiedener Kompartments geschädigter und ungeschädigter Bäume bestimmt.

B. Methodik und Modellentwicklung

An dieser Thematik beteiligen sich alle GFE's, die Umweltforschung betreiben. Dieses Aufgabengebiet ist das am intensivsten bearbeitete Einzelthema.

3.7 Analytik und Bilanzierung von chemischen Stoffen in der Umwelt

In den Großforschungseinrichtungen sind fast alle Einrichtungen zur Meß- und Analysentechnik, zur Meßwerterfassung und Meßwertübertragung vorhanden. Eine ständige problembezogene methodische Weiterentwicklung und Anpassung ist jedoch eine unerläßliche Voraussetzung für neue Erkenntnisse in der Umweltforschung. Ein Schwerpunkt der Arbeiten liegt daher in der Weiterentwicklung und Automatisierung bekannter Methoden und in der Entwicklung neuer Methoden in der Umweltanalytik. Hierzu gehören neue und weiterentwickelte Verfahren zur kontaminationsfreien Probenahme, zur Probenvorbereitung und zur Bestimmung und Charakterisierung von Umweltchemikalien.

Darüber hinaus wird das Verhalten von Umweltchemikalien in Umweltsystemen studiert, Transportwege und Bilanzen aufgestellt, Umwandlungen und Stoffwechselvorgänge werden aufgeklärt, biotische und abiotische Wirkungen und Wirkungsmechanismen werden erfaßt und bewertet.

Aufwendungen und Mannjahre 1984

	MJ	Mio. DM
AWI	8	2,2
DKFZ	22	4,2
GKSS	17	3,8
GSF	80	12,2
KFA	37	8,1
KfK	6	1,3

3.8 Umweltprobenbank

Dieses Großprojekt verfolgt das Ziel, repräsentatives Referenzmaterial für die laufende, retrospektive und prospektive Beschreibung der Umweltsituation zur Verfügung zu haben, um vor allem signifikante Veränderungen oder das Auftreten neuer Schadstoffe rechtzeitig zu erkennen. In der gegenwärtig laufenden Pilotphase werden die hierzu notwendigen technischen Voraussetzungen entwickelt und die Langzeitstabilität diverser organischer Schadstoffe und toxischer Metalle in ausgewählten und ökologisch relevanten Umweltproben unter verschiedenen Lagerungsbedingungen eingehend geprüft. Bei der Durchführung dieses Projektes betreibt die KFA die Pilotbank, ist für die Logistik verantwortlich und ermittelt die analytischen Daten für toxische Metalle und eine Reihe der organischen Schadstoffe. Technische Entwicklungen beschäftigen sich mit der Verbesserung der Lagerung, der Probenahme und Analyseverfahren sowie mit der Probenarchivierung. Weitergehende Studien über Gehalt und Schicksal der Schadstoffe in den Probenahmegebieten liefern Aufschlüsse über deren ökochemisches Verhalten.

Aufwendungen und Mannjahre 1984

	MJ	Mio. DM
GSF	2	0,7
KFA	20	4,1

3.9 Modellentwicklung

Systemanalytische Arbeiten und Modellentwicklungen sind ein weiterer Schwerpunkt der Umweltforschung der AGF.

Ausbreitungsrechnungen in der Atmosphäre, Modelltheorien zur Wärmebelastung von Flüssen, Schadstoffausbreitung in Gewässern sowie Austauschvorgänge Gewässer – Atmosphäre sind Hauptaufgaben.

Modellrechnungen und Systemanalysen

Hier werden Modelle für die Beschreibung der Vorgänge und Zusammenhänge in der Atmosphäre entwickelt. Es werden Prognosen und Szenarien für Emissionsverhalten, Ausbreitung und Dosis-Wirkungsbeziehungen erarbeitet.

KfK Untersuchungen über die technischen, ökologischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Auswirkungen, Risiken und Verwirklichungen des Einsatzes von Energietechnologien unter Vertiefung der Analysen zu ausgewählten Problemfeldern der Kohlenutzung wie SO₂, Spurenelemente, Abfall

GKSS Entwicklung von Modellen zur Simulation von Ausbreitungsvorgängen und Zustandsänderungen in der Atmosphäre als wesentliche Hilfsmittel für Immissionsprognosen, Störfallanalysen und zur Interpretation von Luftgüteüberwachungssystemen

Aufwendungen und Mannjahre 1984

	MJ	Mio. DM
AWI	2	0,6
GKSS	14	2,9
GSF	5	0,7
KFA	12	2,4
KfK	10	1,5

4. Technologien zur Reduzierung von Umweltbelastungen**4.1 Wasserwirtschaft**

Hier arbeiten die technologisch ausgerichteten Großforschungseinrichtungen an Einzelaspekten der Trinkwasseraufbereitung und der Entfernung von Schadstoffen auf dem Wasser.

Die Entwicklung von neuen Membranmethoden zur Abtrennung von Schadstoffen aus dem Wasser, andere unkonventionelle Methoden zur Aufbereitung besonders belasteter Oberflächenwässer sowie methodische Entwicklungen zur Analyse und Aufklärung organischer Wasserschadstoffe stehen im Vordergrund.

Der Einsatz von Algen-Bakterien-Mischkulturen bei der Nachreinigung flüssiger Abfallstoffe sowie bei der kombinierten Abwasserreinigung und Proteinerzeugung wird erprobt. Neue elektrokatalytische Verfahren zur Entgiftung metallbelasteter Abwässer (Cu, Ag, Au, Hg, Chromat u. a.) werden bis zur technischen Anwendungsreife entwickelt (KFA).

Aufwendungen und Mannjahre 1984

	MJ	Mio. DM
GKSS	4	0,7
KFA	25	4,1
KfK	20	5,3

4.2 Abfallwirtschaft

Hier stehen die Arbeiten zur Behandlung und Beseitigung von radioaktiven Abfällen im Vordergrund. Im KfK wird derzeit mit einem Programm zur Behandlung kommunaler Abfälle begonnen.

Da für die radioaktiven Abfälle ein eigenes Programm besteht, sei hier nur generell auf die Aktivitäten der AGF hingewiesen.

4.3 Luftreinhaltung

An Technologien zur Verringerung von Schadstoffemissionen arbeiten vor allem die DFVLR und das KfK.

Im Hinblick auf eine Reduzierung der Schadstoffbelastung der Luft wird besonderer Wert auf die Optimierung von Verbrennungsprozessen gelegt sowie auf die Entwicklung verbesserter Filteranlagen.

Hier werden technologische Entwicklungen zur Optimierung von Verbrennungsanlagen zur Minderung der Freisetzung von Schadstoffen versucht.

KfK Aufgaben sind:

- analytische Erfassung von Schadstoffen, speziell von anorganischen Staubinhaltsstoffen
- Schadstoffbilanzierung im Abgassystem einer Müllverbrennungsanlage
- Untersuchungen zur Rauchgasbehandlung

Es wird ein trockenes Verfahren zur Entschwefelung und Denitrierung für kleinere Verbrennungsanlagen entwickelt.

DFVLR Ziel der Arbeit ist die Erarbeitung theoretischer und experimenteller Grundlagen für die verbesserte Auslegung von Brennräumen bei Diesel- und Ottomotoren zur Reduzierung der Schadstoffemission

GSF Es wurde ein pyrotechnisches Verfahren entwickelt, das einer geschädigten Vegetation die für das Wachstum benötigten Nährstoffe in Form eines unmittelbar durch das Blatt- oder Nadelwerk aufnehmbaren Aerosols zuführt. Patent angemeldet.

Aufwendungen und Mannjahre 1984

	MJ	Mio. DM
DFVLR	10	4,0
GSF	22	8,3
GKSS	9	2,1
KFA	39	9,2
KfK	36	13,1

4.4 Lärmbekämpfung

Schwerpunktmäßig wird dieses Thema von der DFVLR bearbeitet. Da es wesentlich kostengünstiger ist, den Lärm an der Quelle zu reduzieren, als z. B. Schallschutzmaßnahmen an Gebäuden durchzuführen, beschäftigt sich die DFVLR neben grundlegenden Untersuchungen der Schallerzeugung und Schallausbreitung vor allem mit Lärminderungsmaßnahmen an der Quelle.

Aufwendungen und Mannjahre 1984

	MJ	Mio. DM
DFVLR	16	2,7

4.5 Reinhaltung des Meeres

Die Arbeiten der AGF zur Umweltforschung und zum Umweltschutz im Bereich der Hohen See und der Küstengewässer umfassen vor allem ökologische Untersuchungen, auch im Zusammenhang mit Fragen der Rohstoffsicherung (Exploration des Meeresbodens, Wertstoffgewinnung aus Seewasser), und der Ansiedlung und des Betriebs von Industrieanlagen im On- und Offshore-Bereich der Nord- und Ostsee.

Aufwendungen und Mannjahre 1984

	MJ	Mio. DM
GKSS	13	2,5
KFA	2	0,2

Die Arbeitsgemeinschaft der Großforschungseinrichtungen erstellt in zweijährigem Turnus ein Programm „Umweltforschung — Umweltschutz“, in dem die Aktivitäten und die geplanten Arbeiten im Detail aufgeführt sind. Das Programm 84/85 ist in Vorbereitung.

Übersicht über die Großforschungseinrichtungen

Forschungseinrichtung	Forschungsschwerpunkte
Alfred-Wegener-Institut für Polarforschung (AWI) Columbus-Center Bürgermeister-Schmidt-Straße 20 2850 Bremerhaven Telefon (04 71) 4 90 06/7 Telex 02 38 695	Geologie, Glazilogie, Meteorologie, Ozeanographie, Biowissenschaften
Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY) Notkestraße 85 2000 Hamburg 52 Telefon (0 40) 89 69 81 Telex 2 15 124	Grundlagenforschung im subnuklearen Bereich (Elementarteilchenphysik) mit Teilchenbeschleuniger und Speicherringen, Festkörperphysik und Molekularbiologie mit Synchrotronstrahlung, Verarbeitung großer Datenmengen und Erkennungsprobleme. Technologien für extreme Anforderungen.
Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt e. V. (DFVLR) Linder Höhe Postfach 90 60 58 5000 Köln 90 (Köln-Porz) Telefon (0 22 03) 60 11 Telex 08 874 410 Forschungszentren in Braunschweig, Göttingen, Porz-Wahn, Stuttgart, Oberpfaffenhofen	Luftfahrzeuge, Raumflugtechnik, Verkehrs- und Kommunikationssysteme, Erkundungstechnik, Energie- und Antriebstechnik, Betrieb von luft- und raumfahrt-technischen Großversuchsanlagen, Projekt-Management
Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ) Im Neuenheimer Feld 280 6900 Heidelberg Telefon (0 62 21) 48 41 Telex 04 61 562	Krebserzeugende Faktoren und Umweltkarzinogene, Mechanismen der Früherkennung der Krebskrankheiten. Therapie der Krebskrankheiten, Biologische Grundlagen der Tumorthherapie.
Gesellschaft für Biotechnologische Forschung mbH (GBF) Mascheroder Weg 1 3300 Braunschweig-Stöckheim Telefon (05 31) 70 08-1 Telex 9 52 667	Entwicklung biotechnologischer Verfahren und Grundlagenforschung mit Mikroorganismen, pflanzlichen und tierischen Zellkulturen und Enzymsystemen, Entwicklung neuer Technologien zur Gewinnung von pharmazeutischen, chemischen und Nahrungsgrundstoffen.
GKSS-Forschungszentrum-Geesthacht GmbH (GKSS) 2054 Geesthacht-Tesperhude Telefon (0 41 52) 1 21 Telex 2 18 712	Umweltforschung, Wasserentsalzung/marine Ressourcen, Unterwassertechnik/Off-shorestruktur, Reaktorsicherheitsforschung, Kernenergieschiff.

noch Übersicht über die Großforschungseinrichtungen

Forschungseinrichtung	Forschungsschwerpunkte
Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung mbH (GMD) Schloß Birlinghoven Postfach 12 40 5205 St. Augustin 1 Telefon (0 22 41) 1 41 Telex 8 89 469 mit Bereich Darmstadt (früher Deutsches Rechenzentrum)	Durchführung von forschungsintensiven Datenverarbeitungsprojekten und Beratung von öffentlichen Auftraggebern, Forschungs- und Entwicklungsaufgaben im Rahmen des Förderprogramms Datenverarbeitung des Bundes. Standardisierung und Normung in der Datenverarbeitung.
Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München (GSF) Ingolstädter Landstraße 1 8042 Neuherberg, Post Oberschleißheim Telefon (0 89) 3 87 41 Telex 05 23 125 Mit Instituten in Neuherberg und München, Attaching, Clausthal-Zellerfeld, Dortmund, Frankfurt, Göttingen, Grünbach, Hannover, Wolfenbüttel	Umweltforschung, Gesundheitsvorsorge, Entwicklung neuer Technologien im biologisch-medizinischen Bereich, Datenverarbeitung in der Medizin, Endlagerung radioaktiver Abfallstoffe
Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH (GSI) Postfach 5 41 6100 Darmstadt 1 Telefon (06 51) 35 91 Telex 04 19 593	Forschung mit schweren Ionen auf den Gebieten Kernphysik, Atomphysik, Kernchemie, Festkörperforschung, Strahlenbiologie mit Schwerionenbeschleuniger UNILAC.
Hahn-Meitner-Institut für Kernforschung Berlin GmbH (HMI) Glienicker Straße 100 1000 Berlin 39 Telefon (0 30) 8 00 91 Telex 01 85 763	Schwerionen-, Kern- und Atomphysik, Strahlen- und Photochemie. Festkörperforschung. Bearbeitung von Materialproblemen in verschiedenen technologischen Bereichen, Biomedizin, Geochemie, Prozeßrechner- und Rechnerverbund-Technologie.
Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) 8046 Garching bei München Telefon (0 89) 3 29 91 Telex 05 215 808	Experimentelle Plasmaphysik, Erzeugung, Aufheizung und Einschluß von Plasmen, Oberflächenphysik, Plasmatheorie. Magnetfeldtechnik und -berechnung. Fusionsreaktortechnologie. Systemstudien. Datenverarbeitung.
Kernforschungsanlage Jülich GmbH (KFA) Postfach 19 13 5170 Jülich 1 Telefon (0 24 61) 6 11 Telex 8 33 556	Hochtemperaturreaktoren, Wiederaufarbeitung. Prozeßwärme. Fusionsreaktortechnologie. Plasmaphysik, Festkörperforschung, Materialforschung, nukleare Grundlagenforschung. Lebenswissenschaften. Umweltschutz und Sicherheitsforschung.
Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH (KfK) Postfach 36 40 7500 Karlsruhe 1 Telefon (0 72 47) 8 21 Telex 07 826 484	Schneller Brüter, Trenndüsenverfahren. Wiederaufarbeitung und Abfallbehandlung. Nukleare Sicherheit. Spaltstoffflußkontrolle. Tieftemperaturtechnologie. Fusionsreaktortechnologie. Datenverarbeitung und Systemanalyse. Grundlagenforschung. Kernmeßtechnik für industrielle Anwendungen. Betrieb von Versuchsanlagen in halbtischem Maßstab.

Projektträger

- Umweltbundesamt (UBA)
Projektträger „Feste Abfallstoffe“, „Umweltprobenbank“
Bismarckplatz 1, 1000 Berlin 33
Tel. (0 30) 8 90 31, FS 1 83 756
- Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung (GSF)
Projektträgerschaft „Umweltchemikalien“
Josephspitalstraße 15, 8000 München 2
Tel. (0 89) 59 86 61, FS 5 216 995 bpt d
- Kernforschungsanlage Jülich GmbH (KFA)
Projektträger „Ökologische Forschung“
Postfach 19 13, 5170 Jülich 1
Tel. (0 24 61) 61-0, FS 8 33 556 kfa d
- Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt e. V.
(DFVLR)
Projektträger „Umweltschutztechnik“
Postfach 90 60 58, 5000 Köln 90
Tel. (0 22 03) 60 11, FS 8 874 433 div d
- Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH (KfK)
Projektträger „Wassertechnologie“
Postfach 36 40, 7500 Karlsruhe 1
Tel. (0 72 47) 8 21, FS 1 81 590

Abkürzungsverzeichnis

AOX	Adsorbierbare organische Halogenverbindungen	FE	Forschung und Entwicklung
AWTF/CREST	Ausschuß für Wissenschaft und Technische Forschung der Europäischen Gemeinschaften	IAEO	International Atomic Energy Organization, Wien (Internationale Atomenergie Organisation)
BMA	Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung	ICSU	International Council of Scientific Unions
BMBAu	Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau	IOC	International Oceanographic Commission, Paris (Internationale Ozeanographische Kommission der UNESCO)
BMI	Bundesminister des Innern	ISO	International Standard Organization
BMJFG	Bundesminister für Jugend, Familie und Gesundheit	NATO-CCMS	NATO-Committee for the Challenges of Modern Society
BML	Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten	OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit
BMV	Bundesminister für Verkehr	PAN	Peroxiacetylnitrat
BMVg	Bundesminister für Verteidigung	SCOR	Scientific Commission on Ocean Research der IOC
BMWi	Bundesminister für Wirtschaft	UNEP	United Nations Environmental Programme (Umweltprogramm der Vereinten Nationen)
BMZ	Bundesminister für wirtschaftliche Zusammenarbeit	UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris (Organisation der Vereinten Nationen für Erziehung, Wissenschaft und Kultur)
BRAM	Brennstoff aus Müll	WHG	Wasserhaushaltsgesetz
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft e. V., Bonn	WHO	World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)
DOC/TOC	Gelöster organischer Kohlenstoff/totaler organischer Kohlenstoff	WMO	World Meteorological Organization (Weltorganisation für Meteorologie)
ECE	Economic Commission for Europe (Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa)		
EOX	Extrahierbare organische Halogenverbindungen		
EG	Europäische Gemeinschaft		
FCKW	Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoff		